

DEBRECENI EGYETEM  
AGRÁR- ÉS MŰSZAKI TUDOMÁNYOK CENTRUMA  
MEZŐGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR  
AGROKÉMIAI ÉS TALAJTANI TANSZÉK

Dr. Loch Jakab – Dr. Kiss Szendille

# **AGROKÉMIA**

**BSc hallgatók számára**



Debreceeni Egyetemi Kiadó  
Debreceeni University Press  
2014

Lektorálta:  
Dr. Filep György †,  
egyetemi tanár

Dr. Pethő Menyhért,  
Professor Emeritus

DUPress e-jegyzetek



Kiadta: a Debreceni Egyetemi Kiadó Debrecen University Press  
Felelős kiadó: Karácsony Gyöngyi főigazgató

## I. ÁLTALÁNOS AGROKÉMIA

### 1. Az agrokémia tárgya

Az agrokémia a trágyázás, tápanyag-gazdálkodás kémiai alapismereteit foglalja össze.

#### 1.1. A trágyázás célja

A trágyázás célja a növények tápelemellátása, a talajok termékenységének megőrzése, a termések szintentartása, vagy növelése, a termésminőség javítása. Trágyázással pótoljuk a növények termésével elvont tápelemeket a talajból. A tápanyag-utánpótlás történhet szerves és műtrágyákkal.

*Trágyázással*, a trágyák évenkénti kijuttatásával, elsősorban a következő terméshez szükséges tápelemeket biztosítjuk, az aktuális ellátottságot javítjuk. A *tápanyag-gazdálkodás* ennél szélesebb körű, hosszabb távú átgondolt cselekvés, mely a növények igényén kívül, figyelembe kell vegye az alkalmazott trágyák hatását a talajra és a környezetre.

A *növényi produkciót*, a termés mennyiségét és minőségét számos tényező együtt határozza meg, melyek három nagy csoportba oszthatók:

1. Genetikai tulajdonságok (növényfaj, fajta),
2. Környezeti tényezők (talaj és klíma),
3. Agrotechnikai tényezők (talajművelés, trágyázás, öntözés, kémiai növényvédelem és egyéb emberi beavatkozások).

A produkciót meghatározó tényezők közül a *genetikai tulajdonságok* és az *agrotechnikai beavatkozások* megválaszthatók, a *környezeti tényezők* adottak. A termelési szintet *egy-egy termőhelyen* a kiválasztott fajta és a tápanyagellátás határozza meg. A rendszeres tápanyag-utánpótlás nélkülözhetetlen a talajok termékenységének megőrzésében.

Az eredményes tápanyag-utánpótláshoz, trágyázáshoz ismernünk kell a növények igényét, kémiai összetételét, zavartalan fejlődésükhöz szükséges tápelemeket és ezek szerepét. Ismernünk kell a talaj tápanyagszolgáltató-képességét, a műtrágyák, szerves trágyák tulajdonságait és átalakulását a talajban. Ezek ismeretében állapíthatók meg az optimális tápanyagadagok.

Fentiek figyelembevételével állítottuk össze a tananyagot. A hatékony, környezetkímélő trágyázás, növénytermesztés csak megfelelő agrokémiai ismeretek birtokában valósítható meg.

#### 1.2. A környezetkímélő tápanyag-gazdálkodás elvei

Napjaink egyik legfontosabb célkitűzése a *fenntartható gazdálkodás* feltételeinek megteremtése. A fenntarthatóság fogalmát többen meghatározták, a definíciók közös vonása, hogy mindegyik magában foglalja a természeti erőforrások védelmét, köztük a *talaj termékenységének* megővését.

A fenntartható fejlődés a tápanyag-gazdálkodásban is megkívánja az *ökológiai és az ökonómiai* feltételekhez való alkalmazkodást, vagyis a termőhely adottságainak messzemenő figyelembevételét és a gazdaságosságot.

A *környezetkímélő tápanyag-gazdálkodás* jellemzője: a termelési igények és környezetvédelmi célok összehangolása, a környezet minimális terhelése, a termőhely adottságaihoz való alkalmazkodás.

A környezetkímélő tápanyag-gazdálkodás része a *termőhelyspecifikus trágyázás*. Alapelvei: optimális adagok alkalmazása, a túltrágyázás elkerülése, a trágyaszerek helyes megválasztása. Ehhez jól kell ismernünk a talaj fizikai és kémiai tulajdonságait, a talajvíz felszíntől való távolságát, a gazdálkodó egység elhelyezkedését, szerepét a tájban. Pl. vízgyűjtő területeken kerülnünk kell a nitrátfelhalmozódás lehetőségét.

A környezetkímélő tápanyag-gazdálkodás nem jelenti a trágyázás mellőzését. A terméssel elvont tápelemek pótlása trágyázással szükségszerű. A pótlás elmulasztása a talajok termékenységének csökkenését idézi elő. Az elmúlt évtizedben megnyilvánultak olyan nézetek, miszerint a korábbi *intenzív gazdálkodást* jellemző nagyadagú műtrágyázást fel kell váltssa az *extenzív gazdálkodás*, mely műtrágyákat alig, vagy egyáltalában nem használ. E nézetek képviselői a műtrágyák használatát károsnak minősítik. Az említett vélemények is hozzájárultak ahhoz, hogy hazánkban a műtrágya-felhasználás 1990-95 között az 1960-as szintre esett vissza, amely már veszélyezteti a talajok termékenységét. A felhasználás azóta sem emelkedett jelentős mértékben.

Hazánkban, ahol az agrárágazat a hazai szükségletek kielégítésén kívül exportra is termel a műtrágyák nélküli termelés nem képzelhető el, mivel a termésszintek csökkenéséhez vezet. Az 1. ábrán bemutatjuk a műtrágya-felhasználás alakulását 1950-től 1995-ig, valamint a búza és a kukorica termések változását ugyanebben az időszakban. Mindkét esetben az 5 éves átlagokat ábrázoltuk. Ez különösen a terméseknél indokolt, mivel így kiküszöbölhető az évjáratok hatása.

Az ábrából kitűnik, hogy a termések maximuma egybeesik a műtrágya-felhasználás maximumával. Látható továbbá, hogy a kukorica átlagtermése az 1991-95 közötti szakaszban közel 2 tonnával kisebb, mint az 1981-85 között. Az őszi búza átlagtermése kisebb mértékben csökkent.

Az 5 éves termésátlagok elfedik az egyes évek közötti ingadozásokat, így pl. 1995-ben és 1996-ban az őszi búza termése csak 3,1 t/ha volt. Ebben 1995-ben az aszály is közrejátszott, azonban 1996-ban kétségtelenül a nem megfelelő tápanyagellátás hatása érvényesült.

#### 1. ábra: A műtrágya-felhasználás és a búza, kukoricatermések országos átlagai

A trágyázás hatása a talajok tápanyagellátottságában is megmutatkozik. A talajok P- és K-ellátottsága az 1970-90-es időszakban fokozatosan javult. Ezzel szemben 1990-98 között a negatív tápanyagmérleg következtében az ellátottság romlott.

A terméssel elvont tápelemek a *műtrágyákkal és szerves trágyákkal* pótolhatók, használatuk hozzájárul a termékenység fenntartásához, illetve növeléséhez. Alkotórészeik a talajban is előforduló növényi tápelemek. A műtrágyák és szerves trágyák szakszerűtlen használata, illetve túladagolása környezetkárosító hatású lehet.

A *trágyák potenciális* környezetkárosító hatása az alábbi következményekkel járhat:

- kiegyensúlyozatlan tápelemarányok kialakulása a talajban,
- a talajsavanyúság fokozódása,
- a talajoldat nitrátkoncentrációjának növekedése,
- a felszíni természetes vizek eutrofizációja.

*Kiegyensúlyozatlan tápelemarányok* elsősorban egyoldalú műtrágyázással, egy-egy elem túladagolásával alakulhatnak ki és átmeneti zavarokat okozhatnak a növények táplálkozásában.

A *talajsavanyúság* fokozódásához a különböző trágyák különböző mértékben járulhatnak hozzá, azonban a savanyúság kialakulását és változását több tényező okozhatja:

- a talajban lejátszódó kilúgzási folyamatok,
- a műtrágyák és szerves trágyák átalakulása a talajban,
- a savas esők és szilárd légköri üledékek.

A felsorolásból kitűnik, hogy a talajsavanyúság primer oka a talajképződés során meghatározott feltételek között lejátszódó *kilúgzás*. A talajsavanyúságot növelhetik a trágyák és a légköri lecsapódások. A *légköri szennyeződések* részben az iparból, részben a fűtőanyagok és üzemanyagok elégetéséből származnak (gázemisszió).

A *talajsavanyúság* kedvezőtlenül befolyásolja a növények táplálkozását, elősegíti a toxikus elemek oldódását, a talajok degradációját. Ezért a savanyúság fokozódása mindenképpen kerülendő. A trágyák savanyító hatása elsősorban a kolloidban szegény, kis pufferkapacitású talajokon érvényesül.

A N-műtrágyák közül legnagyobb mértékben az *ammóniumsók* savanyítják a talajt. Az ammóniumsók savanyító hatása több okra vezethető vissza:

- savanyúan hidrolizálnak,
- fiziológiás hatásuk savanyú (az  $\text{NH}_4^+$ -ion ellenében  $\text{H}^+$ -iont ad le a növény),
- az  $\text{NH}_4^+$ -ion nitrifikációja során  $\text{H}^+$ -ionok is keletkeznek, lásd N a talajban.

A *P-műtrágyák* közül a szuperfoszfát savanyító hatását szabad savtartalma és a gipsz savanyú hidrolízise okozza. A *K-műtrágyák* savanyító hatása azon alapszik, hogy a  $\text{K}^+$ -ionok kicserélik az adszorbeált  $\text{H}^+$ -ionokat a talajkolloidok felületéről. A nitrogénműtrágyák savanyító hatása a

műtrágyák helyes megválasztásával mérsékelhető. Valamennyi műtrágya savanyító hatása mésztrágyázással kompenzálható.

A *szerves trágyák átalakulása* a talajban is hozzájárulhat a savanyúság fokozódásához (nitrifikáció során  $H^+$ -ionok termelődnek), ugyanakkor az almos trágyában jelenlévő pufferoló hatású alkotórészek csökkenthetik a műtrágyák savanyító hatását.

A *talajoldat nitrátkoncentrációjának növekedése* túlzott N-trágyázás következménye. Káros hatása azzal függ össze, hogy valamennyi talajba jutó N-műtrágya N-tartalma (ammóniumsók és karbamid is) levegős viszonyok között nitrifikálódik, vagyis  $NO_3-N$  képződik belőlük. A talajoldatban kialakuló nagy  $NO_3-N$  koncentráció hatása kettős: egyrészt nitrátfelhalmozódáshoz vezet a növényekben és a táplálékláncon keresztül veszélyezteti az embert, s állatot, másrészt a talajvízbe leszivároghatva veszélyezteti az ivóvízkészletek tisztaságát.

Az előzőekben felvázoltak alapján különös gonddal kell eljárunk a N-műtrágyák megválasztásánál és adagjaik meghatározásánál, hogy környezetkárosító hatásukat minimálisra csökkentjük. A szerves trágyák helytelen használata is hozzájárulhat a nitrátkoncentráció növekedéséhez.

A *felszíni vizek eutrofizációja* nem más, mint a vizek tápanyagokban, elsősorban N- és P-vegyületekben való gazdagodása. Az *eutrof* víztérben oxigénhiány alakul ki, algásodás, hínárosodás lép fel. Az eutrofizációt a szerves trágyák, műtrágyák gondatlan használatán kívül egyéb kemikáliák, pl. mosószerek szennyező hatása is okozhatja.

#### Kérdések

1. Mi a trágyázás célja?
2. Melyek a környezetkímélő tápanyag-gazdálkodás ismérvei?
3. Milyen hatása van a pozitív, illetve negatív tápanyagmérlegnek a talaj termékenységére?
4. Melyek a trágyázás potenciális károsító hatásai?

## 2. A műtrágya-felhasználás hazánkban és külföldön

A műtrágya-felhasználás Európában a századfordulótól napjainkig az ipar és a gazdaság fejlettségével összefüggésben változott. Nyugat-Európában már a II. Világháború előtt jelentős műtrágya-felhasználás jellemezte a gazdálkodást Dániában, Hollandiában, Németországban. A statisztikai adatokból nyomon követhető a termések növekvő tendenciája a műtrágya-felhasználás fokozódásával.

*Hazánkban* a II. Világháború után a műtrágya-termelés és –behozatal fejlődése, a nagyüzemi gazdálkodás, a fejlett agrotechnikai módszerek térhódítása jelentős változásokat idézett elő a tápanyag-gazdálkodásban és a terméshozamokban (1. táblázat).

A hazai műtrágya-felhasználásban négy fejlődési szakasz különböztethető meg az országos átlagok alapján:

- 1960 előtt kevesebb mint 30 kg/ha (N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O) hatóanyagot használtak fel,
- 1960-75 között a felhasználás mintegy tízszeresére növekedett, elérte a 275 kg-ot,
- 1975-85 között közel azonos szintű felhasználás volt jellemző,
- 1985-től kismértékű, 1990-95 között erőteljes csökkenés következett be,
- 1995-től fokozatosan növekedett a felhasználás.

1. táblázat **A műtrágya-felhasználás és a búza-, kukorica-termésátlagok alakulása hazánkban (KSH-adatok alapján)**

Év	Műtrágya kg/ha*	Termés t/ha	
		búza	kukorica
1921-40	2-3	1,33	1,66
1951-60	16	1,49	2,16
1961-65	59	1,86	2,63
1966-70	109	2,42	3,23
1971-75	241	3,32	4,17
1976-80	270	4,05	4,90
1981-85	278	4,63	6,11
1986-90	187	4,88	5,63
1990	104	5,05	3,99
1991-95	36	4,28	4,43
1996-2000	56	3,76	5,69
2001-2005	87	4,01	5,96
2006-2008	97	4,16	6,00

\* 1 ha szántó, kert, gyümölcsös és szőlőterületre jutó hatóanyag (N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O)

Az *első szakaszban* kevés műtrágyát használtak Magyarországon és viszonylag alacsonyok voltak a termések. A *második szakaszban* a felhasználás megközelítette ill. elérte a nagy műtrágyázási múlttal rendelkező nyugat-európai országok szintjét, ebben az időszakban a búza és a kukorica termése mintegy két és félszeresére növekedett. A *harmadik szakaszra* is a nagy hozamok jellemzőek, míg a *negyedik szakaszban*, amikor a felhasználás visszaesett az 1960-as évek szintjére, megkezdődött a termések csökkenése. A tápanyagfelhasználás és a termésátlagok is 1991-95 között érték el a minimumot.

Az 1996-2008 közötti időszakban a műtrágyafelhasználás ismét növekedésnek indult, majd stabilizálódott. Párhuzamosan a termések is növekedtek, a búza kisebb mértékben, a kukorica erőteljesebben.

Az említett hatásokban a szerves trágya viszonylag kis szerepet játszott. A műtrágyával, ill. szerves trágyával a talajba juttatott hatóanyag mennyiségek aránya 1960-ban: 50-50 %, 1970-ben 80-20 % és 1975-ben 85-15 %, vagyis egyre csökkenő. Korábban országos átlagban mintegy 3 t/ha szerves trágya keletkezett, ez a mennyiség 1990 után az állatállomány csökkenése miatt kb. a felére esett vissza.

A termések megkétszereződését az új nagy termőképességű fajták bevezetése és az agrotechnika fejlesztése eredményezte. Az agrotechnika egyes elemei: a trágyázás, a kémiai növényvédelem, a korszerű talajművelés, és az öntözés egyaránt hozzájárultak a hozamok növeléséhez, azonban a trágyázás szerepe meghatározó volt.

A műtrágya-felhasználás mennyiségi növekedésével egyidejűleg a hatóanyag arányokban is változás következett be (2. táblázat.) Az 1950-60-as években még azonos volt a nitrogén- és foszforfelhasználás, később eltolódott a nitrogénműtrágyák javára. Fokozatosan emelkedett, majd stabilizálódott a káliumműtrágya felhasználása is. A csökkenő felhasználás időszakában a nitrogéntúlsúly jellemző. 1996 után növekedett a foszfor és kálium műtrágyák felhasználása, javult az N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O arány (1996-2000 között 1:0,17: 0,18; 2001-2008 között 1:0,23:0,28).

2. táblázat **Műtrágya-felhasználás Magyarországon**  
(KSH-adatok alapján)

Év	Hatóanyag 1000 t/év				Hatóanyagarány		
	Összes	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1921-30	16	1	14	1	1,0	14,0	1,0
1931-40	9	1	7	1	1,0	7,0	1,0
1951-60	84	34	34	15	1,0	1,0	0,4
1961-65	298	143	100	55	1,0	0,7	0,4
1966-70	613	293	170	150	1,0	0,6	0,5
1971-75	1206	479	326	401	1,0	0,7	0,8
1976-80	1458	558	396	504	1,0	0,7	0,9
1981-85	1500	607	400	494	1,0	0,7	0,8
1986-90	1213	559	280	370	1,0	0,6	0,8
1990	671	358	127	186	1,0	0,4	0,5



1991	196	140	23	33	1,0	0,1	0,2
1992	189	148	21	20	1,0	0,2	0,1
1993	207	161	25	21	1,0	0,2	0,2
1994	280	222	27	31	1,0	0,1	0,1
1995	247	191	29	27	1,0	0,2	0,1

DUPress e-jegyzetek

A nagyobb arányú nitrogénfelhasználás világtendencia. Ennek több oka is van:

- a növények általában nagyobb mennyiségben igénylik a nitrogént, mint a foszfort,
- jó nitrogén ellátás mellett javul a foszfor és kálium érvényesülése,
- a nitrogénadagok és a termés mennyisége között szoros a kapcsolat,
- a nitrogénműtrágyák gyártását kevésbé korlátozzák a nyersanyagproblémák, mint a többi műtrágya előállítását, távlatilag az energiaigény korlátozhatja a termelést.

Fentiek ellenére a jövőben a N-műtrágyák körültekintőbb és ellenőrzött felhasználására kell törekednünk, figyelemmel a környezetszennyezés potenciális veszélyeire (lásd előző fejezet).

Összefoglalva megállapítható, hogy a növekvő műtrágya-felhasználás hatására az országos tápanyag-mérleg az 1970-es években pozitívvá vált (országos átlagban több tápanyagot juttattunk a talajba, mint amennyit a terméssel elvontunk). A korábbi talajzsaroló gazdálkodást felváltotta a talajt-gazdagító trágyázás, aminek következtében a talajok tápelem-ellátottsága országosan javult. Az 1990-es évektől a mérleg negatív, ami veszélyezteti a talajok termékenységét.

Az 1985-ben kezdődő mérsékelt felhasználás a világpiaci energiaárak növekedésével, a szubvenciók fokozatos megvonásával függ össze. A mezőgazdasági nagyüzemek felbomlása, az átalakulások elhúzódása, a tőkehiány és termelési bizonytalanságok idézték elő 1990-től az erőteljes visszaesést a műtrágya-felhasználásban. Sok üzemben nem használtak műtrágyát, vagy csak N-műtrágyát adtak, feltételezve, hogy a talajban az előző években felhalmozott P- és K-készletek fedezik a növények szükségletét. Az egyoldalú N-trágyázás rendkívül veszélyes, fokozza a N-trágyázás többször említett potenciális környezetkárosító hatását, továbbá rövid időn belül a talajok termékenységének csökkenéséhez vezet. Erre utalnak az 1995-ben és 1996-ban elért alacsony búzatermések.

A jövőben az eddiginél céltudatosabb termőhely-specifikus tápanyag-ellátásra kell törekedni. Az okszerű tápanyag-gazdálkodás és a környezetvédelem egyaránt megkívánja a talajok rendszeres vizsgálatát. A talajok aktuális tápanyag-ellátottsága mellett fokozottabban kell figyelembe vennünk a tápanyag-szolgáltató képességet. Az eddiginél nagyobb gondot kell fordítani a gazdaságokban keletkező szerves trágyák és hulladékok szakszerű felhasználására. Ki kell dolgozni a környezetkímélő gazdálkodási formákat és a változó feltételekhez alkalmazkodó műtrágyázási szaktanácsadást.

### *A műtrágya-felhasználás tendenciái külföldön*

A FAO statisztikái alapján megállapítható, hogy Nyugat-Európa országában is csökkent a műtrágya-felhasználás 1985-től. A csökkenés okai:

- a gazdaságilag fejlett országokban kialakult túltermelés,
- a viszonylag nagy szerves trágya-felhasználás,
- környezetvédelmi megfontolások.

A csökkenés mértéke lényegesen kisebb az EU országában, mint Kelet-Európa országában.

	csökkenés		
EU	N: 12%	P: 34%	K: 26%
Kelet-Európa	N: 55%	P: 80%	K: 80%

Figyelemre méltó ugyanakkor, hogy az élelmezési gondokkal küzdő Egyiptomban, Észak-Koreában, Dél-Koreában ugyanebben az időszakban

a 200 kg/ha feletti N-felhasználás 10-50%-al növekedett.

Nemzetközi összehasonlításban megállapítható, hogy hazánkban, figyelembe véve a kedvező termelési adottságokat jelenleg rendkívül alacsony a felhasználás. A jövőben a fenntartható mezőgazdaság megvalósítására növelni kell a felhasználást, az ökológiai tényezők messzemenő figyelembevételével.

### Kérdések

1. Milyen szakaszok különböztethetők meg a hazai műtrágya-felhasználásban, mi jellemző az egyes szakaszokra?
2. Hogyan alakultak a búza- és kukoricatermések az egyes szakaszokban?
3. Miként változott az ország tápanyagmérlege 1960-75 között?
4. Milyen jelenleg az ország tápanyagmérlege?
5. Mi jellemzi a külföldi műtrágya-felhasználást?
6. Hogyan változott a felhasználás az EU országában, illetve Kelet-Európában?
7. Milyennek minősíthető a hazai felhasználás a külföldi adatokkal összehasonlítva?

### **3. A növények kémiai összetétele**

A növények kémiai összetétele meghatározza a termékek minőségét. A tápelemtartalom támpontul szolgál a tápanyagszükséglet megítélésében.

### 3.1. Víz- és szárazanyagtartalom

A növények két fő alkotórésze a víz- és a szárazanyag-tartalom. A friss növényi zöldtömeg legnagyobb része víz.

A friss növényi részek nagy víztartalma elengedhetetlen az anyagcsere-folyamatok lejátszódásához.

A növény a vizet az aktív sejtekben tartalmazza nagyobb mennyiségben.

A különböző növényi részekben különböző a víztartalom. Legtöbb vizet a fiatal, élettanilag aktív növényi szervek tartalmaznak. A protoplazma vízmegkötő-képessége a növény öregedésével csökken. Legkisebb a víztartalom a növényi magvakban, melyekben az élettevékenység erősen csökkent.

A növények víztartalma ezen kívül függ a környezeti tényezőktől is, így a talajadottságoktól, a klímától és a vízellátottság mértékétől.

A víztartalom súlyállandóságig történő szárítással határozható meg. A szárítás hőmérsékletén (általában 105 °C) a víz eltávozik, a tömegveszteség adja a víztartalmat, a visszamaradó rész a szárazanyag. Néhány kultúrnövény átlagos víztartalmát a 3. táblázatban foglaltuk össze.

3. táblázat **Kultúrnövények víztartalma**  
(friss zöldtömeg, illetve termés százalékában)

<b><i>Vegetatív részek</i></b>	
Gabonafélék (levél, szár)	75-90 %
Fűfélék, pillangósok (levél, szár)	75-90 %
Cukorrépa gyökér, levél	75-80 %
Burgonyagumó	75 %
Burgonyaszár (zöld)	75-80 %
Gabonaszalma, kukoricaszár	14-15 %
Réti széna, lucernaszéna	15-16 %
<b><i>Húsos termékek</i></b>	
Tök, uborka	85-95 %
Gyümölcsök, szőlő, földieper	80-85 %
<b><i>Száraz termékek és magvak</i></b>	
Kukoricaszem	15-25 %
Gabonaszem, pillangósok magvai	12-15 %

A mezőgazdasági termékek víztartalma a tárolás szempontjából is figyelmet érdemel. A termékek tárolása általában csak alacsony víztartalommal biztosítható veszteség, illetve minőségromlás

nélkül (pl. gabonafélék, kukorica, szénafélék stb.). Napjainkban már ismert a kukorica nedves tárolásának lehetősége, ami a szárítási energia megtakarítása szempontjából lényeges.

A szárazanyagon belül további két alapvető alkotórészt különböztetünk meg: a *szervesanyag*-tartalmat és a *szervetlen*, vagy másképpen hamualkotórészeket. A szárazanyag túlnyomó többségét, mintegy 90 %-át a szerves vegyületek teszik ki, a hamualkotórészek aránya ennek megfelelően kicsi. A növény szárazanyagának összetétele az alábbi átlagértékekkel jellemezhető:

C	40-45 %
H	5-6 %
O	40-42 %
egyéb elemek	2-10 %

### 3.2. Hamutartalom, hamualkotórészek

A hamualkotórészek egyrészt a növény számára *nélkülözhetetlen* tápelemek, másrészt a növény táplálkozása szempontjából *nélkülözhető*, vagy eddig nem tisztázott élettani hatású elemek. A növény ugyanis a táplálkozásához szükséges elemek felvétele mellett nem képes megakadályozni a *nélkülözhető* (ballaszt) elemek és a *káros hatású* (toxikus) elemek felvételét sem.

A *hamutartalmat* laboratóriumban 550 °C-on történő izzítással határozzuk meg. Az izzítás során a szerves anyag elég, a szervetlen alkotórészek többsége különböző sók, vagy oxidok formájában marad vissza. A hamuban legnagyobb mennyiségben K, Ca, Mg, Na, P, S, Si, Cl található, ezen kívül kisebb mennyiségben mikroelemek, melyek közül a legfontosabb a Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B. (A nitrogén szinte teljes mennyisége ammónia, illetve nitrogén-oxidok formájában távozik, de más elemeknél is léphet fel izzítási veszteség.)

Esetenként a nélkülözhetetlen elemeket is a szükségesnél nagyobb mennyiségben veszi fel a növény (luxus felhalmozás). Az esszenciális elemek – a szükségletet lényegesen meghaladó mennyiségben – ugyancsak toxikus hatást váltanak ki.

A hamutartalom viszonylag kis része a friss zöldtömegnek, ezért mennyiségét a *szárazanyag százalékában* fejezik ki. Néhány adatot a 4. táblázat tartalmaz.

4. táblázat      **Néhány kultúrnövény hamutartalma**

Növény	Növényi rész	% a szárazanyagban
Búza	szem	1,2 – 3,7
Búza	szalma	7,0 – 9,7
Árpa	szem	1,7 – 4,9
Árpa	szalma	6,4 – 10,8
Kukorica	szem	06 – 4,5
Kukorica	szár	6,1 – 6,9
Cukorrépa	gyökér	2,0 – 6,6
Cukorrépa	levél	8,3 – 29,2
Takarmányrépa	gyökér	4,4 – 14,1
Takarmányrépa	levél	11,1- 21,0
Burgonya	gumó	2,2 – 5,8
Burgonya	szár	8,6 – 17,7
Lucerna	levél, szár (széna)	9,7 – 11,7
Fehérhere	levél, szár (széna)	7,3 – 13,5
Vöröshere	levél, szár (széna)	5,3 – 10,8
Dohány	levél	8,5–23,0

A hamutartalom a levelekben és egyéb vegetatív szervekben a legnagyobb és tág határok között változik, kisebb a gumós termésekben és a magvakban. A hamutartalom függ a növény korától, a talaj ásványianyag-tartalmától és a termés nagyságától is. A trágyázás növelheti a hamu mennyiségét, különösen a vegetatív szervekben, a generatív szervek hamutartalma viszonylag állandó. A generatív szervekben a P és Mg található nagyobb mennyiségben, mint a vegetatív szervekben. A hamualkotók mennyisége alapján megítélhető a takarmányok ásványianyag-tartalma.

### 3.3. Szervesanyag-tartalom

A növények szárazanyagában található nagyszámú szerves vegyület funkció és vegyülettípus, illetve különböző gyakorlati szempontok alapján csoportosítható. A szerves vegyületek, vegyületcsoportok egy része minden növényben megtalálható, ilyenek a *szénhidrátok*, *lipidek* (zsírok és zsírszerű anyagok), valamint a *fehérjék*. Egyes növények tartalmazhatnak specifikus, sajátos vegyületeket, mint pl. az alkaloidok, és a terpének.

*Mennyiségileg* legjelentősebbek a szénhidrátok, fehérjék, lipidek, ezek szerkezetalkotó és egyben tartalékanyagok is. Sokkal kisebb mennyiségben fordulnak elő, de igen fontosak a foszfatidok és a klorofill. Legkisebb mennyiségben vannak jelen az élettani folyamatokat *katalizáló enzimek*, a *vitaminok* és *hormonok*, melyek funkcióiknál fogva nélkülözhetetlenek.

A növények *minőségét* befolyásoló és a táplálkozás szempontjából is jelentős szerves vegyületek a szénhidrátok, lipidek, és fehérjék.

A *szénhidrátok* poli-hidroxi-aldehidek és poli-hidroxi-keetonok, valamint ezek származékai. Szerkezetük alapján 3 fő csoportba osztjuk a szénhidrátokat:

- monoszacharidok (egyszerű cukrok és monoszacharid származékok),
- oligoszacharidok (cukorszerű, összetett szénhidrátok),
- poliszacharidok (nem cukorszerű összetett szénhidrátok).

A *monoszacharidok* a szénhidrátok alapegységei, amelyek hidrolizissel nem hasíthatók kisebb molekula tömegű szénhidrátokra. A monoszacharidokat csoportosíthatjuk szénatomszám szerint (trióz, tetrióz, pentóz, hexóz stb.), valamint aszerint, hogy aldehid vagy ketocsoportot tartalmaznak. A polihidroxi-aldehideket aldózoknak, a polihidroxi-keetonokat ketózoknak nevezzük.

Legfontosabb *aldózok* a glicerín-aldehid (3 C atomos), eritrióz (4 C atomos), ribóz, xilóz (5 C atomos), glükóz, mannóz, galaktóz (6 C atomos).

Fontosabb *ketózok* a dihidrox-aceton (C<sub>3</sub>), eritrolóz (C<sub>4</sub>), ribulóz, xilulóz (C<sub>5</sub>), fruktóz (C<sub>6</sub>).

*Diszacharidok* a legfontosabb oligo-szacharidok. Lehetnek redukáló és nem redukáló diszacharidok.

Fontosabb *redukáló diszacharidok*: maltóz (malátacukor), cellobióz, laktóz (tejcsukor).

A maltóz természetben nagyon elterjedt, a keményítő hidrolízisével nyerhető. Viszonylag sok található gabona-, burgonyacsírában, zöld levelekben stb.

A cellobióz a legelterjedtebb szénvegyületnek, a cellulóznak az építőköve. A maltózhhoz hasonlóan 2 glükózmolekulából áll.

A laktóz az emlősök tejében fordul elő, glükózból és galaktózból épül fel.

*Nem redukáló diszacharidok* közül legfontosabb a szacharóz, amely egy glükóz és egy fruktóz molekulából áll. A növényvilágban nagyon elterjedt, a cukornád és a cukorrépa tartalmazza nagyobb mennyiségben.

A *poliszacharidok* monoszacharid részekből álló nagy molekulatömegű vegyületek.

Az öt szénatomos monoszacharidokból álló *pentozánokra* és a hat szénatomos monoszacharid egységből álló *hexozánokra* csoportosíthatók.

Fontosabb *hexozánok*: keményítő, glikogén, cellulóz.

A *keményítő* a magasabb rendű növények tartalék tápanyaga. Számos élelmiszer alkotórésze, az emberi táplálkozás legfontosabb szénhidrát forrása.

A glikogén az állati keményítő.

A cellulóz a magasabb rendű növények szilárdító anyaga.

A lipidekhez tartoznak azok a vegyületek, amelyek szerves oldószerekben oldódnak. Lehetnek elszappanosíthatók, és nem elszappanosítható lipidek. Az elszappanosítható lipidek lehetnek egyszerű, vagy összetett lipidek. Egyszerű lipidek közé a *viaszok*, *zsírok* és *olajok* (trigliceridek), az összetett lipidek közé a foszfolipidek, glikolipidek, szfingolipidek tartoznak. Az el nem szappanosítható lipidek közé tartoznak a karotinoidok, szteroidok, zsírban oldódó vitaminok (A, D, E, K).

A *fehérjék*, más néven proteinek a növényi és állati sejtekben előforduló makromolekulák, amelyek aminosavakból épülnek fel. A fehérjék az élő szervezetekben nélkülözhetetlenek, fehérjék nélkül nincs élet. A fehérjéket 20 féle aminosav építi fel. A fehérjéknek négyféle szerkezetét különböztetjük meg. *Elsődleges szerkezeten* (primer szerkezet) az aminosavak kapcsolódási sorrendjét (aminosav szekvencia), *másodlagos szerkezeten* az  $\alpha$ -hélix és a  $\beta$ -redő szerkezetet, *harmadlagos szerkezeten* egy adott globuláris fehérje molekula térszerkezetét értjük. *Negyedleges szerkezetet* a több polipeptid láncból álló fehérje molekulák térszerkezete jelenti.

A fehérjéket csoportosíthatjuk felépítésük szerint *egyszerű* és *összetett* fehérjékre. Az *egyszerű fehérjék* csak aminosavakból épülnek fel. Ilyenek pl. albuminok, globulinok, glutelinek, prolaminok stb. Az *összetett fehérjék* aminosavakon kívül más anyagokat is tartalmaznak. Pl. foszforproteinek, glikoproteinek, kromoproteinek, lipoproteinek. Alakjuk szerint a fehérjék lehetnek fibrilárisak és globulárisak. Élettani szerepük alapján lehetnek enzimfehérjék, hormonfehérjék, transzportfehérjék, immunfehérjék stb.

*Fontosabb növényi fehérjék:* a gabonafehérjék közül a *búzafehérjék*, a gliadin és glutenin 1:1 arányú komplexe a sikér. A hüvelyesek fehérjéi közül nagy jelentőségű a *szójafehérje*, aminosav-összetétele a legkedvezőbb a növényi fehérjék között, valamennyi esszenciális aminosavat tartalmazza (esszenciális aminosav az, amelyet az emberi és állati szervezet nem tud előállítani). Az olajos magvak fehérjéi közül a *napraforgó-fehérjék* ismertebbek. Összetételük a szójafehérjéhez hasonló. A legfontosabb burgonyafehérje a *tuberin*. *Állati fehérjék* közül fontosabbak: tejfehérje (kazein), tojásfehérjék (ovalbumin, avidin) és a vázfehérjék (kollagén, zselatin, kreatin).

Néhány növény minőségét is meghatározó szerves alkotórészeinek megoszlását a termésben az 5. táblázat tartalmazza. Megfigyelhető, hogy a gabonafélék és hüvelyesek szemtermésében nagy a *szénhidráttartalom*, s ennek nagy része keményítő. Jelentős a burgonya keményítőtartalma is. A cukortartalom közismerten legnagyobb a cukorrépában és a különböző gyümölcsökben. A cellulóztartalom a kultúrnövények fő termésében általában nem több néhány százaléknál. A



rostonövényekben, szálatakarmányokban és szalmában ezzel szemben lényegesen több cellulóz halmozódik fel.

5. táblázat **Néhány növény fő termésének átlagos kémiai összetétele (a nyersanyag %-ában) (Klecskovszkij és Peterburgszkij, 1967)**

Növény	Szénhidrátok			Lipidek	Fehérjék
	cukrok	keményítő	cellulóz		
Búza	3,0	58,0	2,5	1,8	15,0
Rozs	5,0	60,0	2,0	1,6	12,0
Zab	2,0	45,0	13,0	5,0	11,0
Kukorica	2,5	65,0	1,8	4,0	9,0
Borsó	6,0	40,0	5,0	1,0	25,0
Bab	4,0	45,0	3,5	1,5	22,0
Szója	8,0	3,0	4,5	20,0	35,0
Napraforgó	5,0	2,0	5,0	50,0	25,0
Burgonya	1,0	16,0	1,0	0,1	1,2
Cukorrépa	18,0	-	1,2	0,1	0,6
Sárgarépa	7,0	0,5	1,6	0,2	0,7
Alma	12,0		0,7	0,1	0,3

A *lipidek* mennyisége jelentős a szójában, napraforgóban és más olajos magvú növényben, a többi növény termésében lényegesen kevesebb a zsírszerű anyag.

A *fehérjetartalom* a hüvelyesek és a napraforgó termésében a legnagyobb. A gabonafélék fehérjetartalma kisebb, a többi növényé pedig alacsony.

A felsorolt példákban kitűnik, hogy a termékek tápértékét, minőségét a kémiai összetétel határozza meg.

#### Kérdések

1. Mire következtethetünk a növények kémiai összetételéből?
2. Mennyi a víztartalom a vegetatív növényi részekben?
3. Mekkora a gumók, húsos termések és magvak víztartalma?
4. Melyek a hamualkotórészek?
5. Mit értünk ballaszt elem illetve luxusfelhalmozás alatt?
6. Milyen a hamu mennyisége a vegetatív és generatív részekben, miben fejezzük ki?
7. Melyek a termésminőséget is meghatározó szerves vegyületcsoportok?
8. Milyen egyéb szerves vegyületek fordulnak elő a növényekben?
9. Mennyi a szénhidrát (cukor, keményítő, cellulóz) átlagos mennyisége a növények termésében ?
10. Mennyi az átlagos fehérjetartalom a különböző növények termésében?
11. Mennyi az átlagos lipidtartalom a különböző növények termésében?
12. Milyen mutatókkal jellemzik a takarmányok tápláléértékét, illetve minőségét?

#### 4. A növényi tápelemek és osztályozásuk

Tápelemeknek a növény számára *nélkülözhetetlen* (esszenciális) elemeket tekintjük. A tápelemeknek Allen és Arnon szerint az alábbi kritériumoknak kell megfelelniük:

- az elem hiánya esetén a növény fejlődésében zavar áll be,
- az elem pótlásával a hiánytünetek megelőzhetők, vagy megszüntethetők,
- az elem hatása az élettani folyamatokban kimutatható,
- az elem nem helyettesíthető más elemmel.

Mengel szerint tápelemek azok az elemek, melyek a növények növekedéséhez és zavartalan fejlődéséhez szükségesek, s funkciójukat más elem nem tudja ellátni.

Nélkülözhetetlen elemek:

C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B

Megkülönböztetünk ezen kívül *kedvező hatású elemeket* (pl. Na, Cl, Si stb.), melyek élettani szerepe eddig nem tisztázott, esetenként azonban kedvező hatásuk kimutatható. Az élettani funkciók felismerésével, tisztázásával a tápelemeknek minősíthető elemek száma várhatóan növekszik.

Egyes nehézfémek (pl. Cd, Cr, Hg, Ni, Pb)–különösen nagyobb koncentrációkban–kifejezetten károsak a növényekre. Ezeket *toxikus elemeknek* nevezzük. Az Al is mérgező hatású. A toxikusság azonban a nélkülözhető és nélkülözhetetlen elemeknél egyaránt a koncentráció függvénye.

A növények általában szerves ionok pl. nitrát, foszfát, vagy szerves vegyületek (pl. széndioxid) formájában veszik fel az elemeket. Kimutatták továbbá, hogy a növény egyes szerves vegyületeket (pl. karbamid, aminosavak, kelátok) is képes közvetlenül hasznosítani. Ezzel függ össze, hogy a *tápelem* megjelölés helyett gyakran használjuk a *tápanyag* kifejezést (tápanyagellátás, tápanyagfelvétel stb.). Bár ez eléggé elterjedt, különbséget kell tennünk az előzőekben definiált tápelemek és a növények táplálását szolgáló ionok, vegyületek (tápanyagok) között.

##### 4.1. A tápelemek osztályozása

A tápelemek csoportosítása történhet mennyiségi alapon és az elemek funkciója szerint.

A növények szárazanyagában előforduló *mennyiségük* alapján makro- és mikroelemeket különböztetünk meg. *Makroelemeknek* tekintjük azokat a tápelemeket, melyek 0,1 %-nál nagyobb mennyiségben, *mikroelemeknek* pedig azokat, melyek ennél kisebb mennyiségben találhatók a szárazanyagban.

Makroelemek: C, H, O, N, P, S, Ca, Mg

Mikroelemek: Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B

A Ca-ot és Mg-ot *mezo*-elemként is szokás jelölni. A mikroelemeket nyomelemeknek is nevezik. Célszerű azonban különbséget tenni a mikrotápelemek és egyéb nyomelemek között. Mennyiségüket általában ppm-ben adjuk meg (ppm = parts per million = milliomod,  $10^{-6}$  rész). A ppm kifejezhető g/t; mg/kg;  $\mu\text{g/g}$  egységben is. A rendkívül kis mennyiségben előforduló toxikus elemeket ppb = parts per billion (billiomod,  $10^{-9}$  rész) egységben is kifejezhetjük.

A tápelemek mennyiségi osztályozása általánosan elterjedt a gyakorlatban, pedig az elemek jelentőségét nem mennyiségük határozza meg. A viszonylag kis mennyiségben előforduló mikrotápelemek élettanilag ugyanolyan fontosak, mint a makrotápelemek. Ezért a tápelemeket egyre inkább *kémiai tulajdonságuk* és *élettani funkciójuk* alapján csoportosítjuk (6. táblázat). A táblázatból kitűnik, hogy a nemfémes elemek, illetve az alkálifémek és alkáliföldfémek, továbbá a nehézfémek élettani hatása jelentősen eltér egymástól. Ugyanakkor a mikroelemekhez tartozó bór sok hasonlóságot mutat a nemfémes elemek csoportjába tartozó makroelemekkel (P, B felvétele, beépítése).

A *nemfémes* elemek csoportjába tartoznak a C, H, O, melyek a szerves vegyületek legfontosabb építőkövei, de a csoportban található többi elem is résztvesznek bizonyos szerves vegyületek felépítésében. A N és S, a nitrát és szulfát redukciója után atomos kötéssel épül be a fehérjékbe. A P, B és Si redukálatlanul foszfát, borát, szilikát formában észterkötést képez a különböző szerves vegyületek, különösen a cukrok -OH csoportjával. A C, O és H a vázanyagokat: cellulózt, lignint és pektint építi fel. A N, P és S nemcsak alkotórészei az egyszerű és összetett fehérjéknek, hanem fontos szerepet játszanak az anyagcsere-folyamatok szabályozásában is.

Az *alkálifémek* és az *alkáliföldfémek* túlnyomórészt ionos állapotban vannak jelen a növényben. Ezeket az elemeket a növény kationként veszi fel, így is szállítja. Elsősorban a szerves vegyületek negatív töltéseinek leköttetése a szerepük. Az alkálifémek és az alkáliföldfémek ionjai lazán kötődnek, egymást kiszoríthatják helyükről. Jelentős hatásuk van a plazma duzzadtsági állapotára, illetve az ozmotikus potenciálra. Ez a hatásuk nem specifikus. Enzimekhez kötve módosítják azok térszerkezetét (fém-protein komplexek), e funkciójuk már specifikus. A Mg szerepe a foszforilálási folyamatokban jelentős.

A *nehézfémek* az alkáliionokkal ellentétben igen erősen kötődnek a szerves anyaghoz, illetve kelát formában beépülnek. Legszenvedélyesebb tulajdonságuk, kifejezett hajlamuk a fémkomplex képzésre. A kelátok a nehézfémek felvételében és szállításában vesznek részt. A Mn szerepe a Mg-

hoz hasonló, így közbülső helyet foglal el az alkáliföldfém-csoport és a nehézfémek elemei között. A nehézfémek többnyire enzimek alkotóiként fejtik ki hatásukat.

6. táblázat **A növényi tápelemek csoportosítása kémiai tulajdonságuk és élettani funkciójuk, szerepük alapján (Mengel, 1976)**

Elemcsoport, elemek	Felvétel és szállítás	Elemek szerepe élettani, biokémiai funkció
<i>Nemfémek</i>		
C	Felvétel gáz alakban (CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> )	A szerves vegyületek legfontosabb építőkövei
H	C felvétel HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> formában is	
O	O-felvétel részben H <sub>2</sub> O-ból H-felvétel H <sub>2</sub> O-ból	
N	Felvétel oxokomplex formában:	Egyes szerves vegyületek alkotói. A NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , és SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -redukció után atomos kötéssel kapcsolódnak a szénvázakhoz. A S és N az anyagcsere-folyamatok szabályozásában is részt vesznek. Foszfát-, borát-, szilikát-ionok észtereket képeznek alkoholos csoportokkal.
S	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> stb.	
P	N-felvétel NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> formában is.	
B	Szállítás szerves molekulák formájában, pl. aminosav, amid, foszfolipid, vagy észter alakjában.	
Si		
<i>Alkálifémek, alkáliföldfémek</i>		
K	Felvétel és szállítás kation formában.	Túlnyomóan adszorpciós úton, szerves anyaghoz kötődnek. Könnyen kicserélik, kiszorítják egymást. Enzimekre nem specifikus kolloid-kémiai hatást gyakorolnak. (Duzzadási fok.) A Mg részben kelátként kötődik, ebben a formában specifikus enzim-aktivátor.
Na		
Mg		
Ca		
<i>Nehézfémetek</i>		
Fe	Felvételt Mo kivételével kationként vagy fémkelát formában. Mo-felvétel MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> formában. Szállítás fémkelát vagy szerves molekulák formájában.	Többnyire enzimek fémkomponensei, hatásuk gyakran a fém vegyérték-változásán alapszik. Mn és Zn szerepe részben hasonlít a Mg szerepéhez: elősegíti az enzim és szubsztátum reakcióját. A kelátkötés uralkodó.
Mn		
Cu		
Zn		
Mo		

## 4.2. Tápelemtartalom

A növények tápelemtartalma a szárazanyagban növényfajonként és fajtánként különböző. Az egyes növényi részek (szervek) összetétele is eltérő. A növények, növényi részek tápelemtartalmát külső tényezők: a talaj tápanyagtartalma, vízellátottsága és a trágyázás ugyancsak befolyásolják. Ezért csak értékhatárok jelölhetők meg (7. táblázat).

7. táblázat **A tápelemtartalom értékhatárai a növényi szárazanyagban**

N, K	2,0-6,0%
Ca, P, S	0,3-1,5%
Mg, Na	0,2-0,6%
Fe, Mn	20-200 ppm
Zn	20-100 ppm
Cu	5-10 ppm
B (egyszikűekben)	10 ppm
B (kétszikűekben)	20-100 ppm
Mo	1 ppm

A növények tápelemtartalma változik a korral. A fiatal növényi részek mindig több ásványi anyagot és nitrogént tartalmaznak, mint az idősebbek. A növényi szervezet a tápanyagok felvételével teremti meg a feltételeket a fotoszintézishez, melytől a termés nagysága függ.

A tápelemtartalom a szárazanyagban—a kalcium kivételével—a tenyészidő előrehaladásával csökkenő tendenciájú (2. ábra). Ennek ellenére a tápanyagszükséglet a növények fejlődésével mégis növekszik, mert a növények tömege állandóan gyarapszik.

2. ábra: A tavaszi árpa N- és P-tartalmának alakulása, Finck (1969)

A növények tápanyagigénye a tenyészidőszak különböző szakaszaiban elemenként eltérő. A *nitrogént* elsősorban a vegetatív fázisban igényli a növény. A *foszfor* felvételében két maximum figyelhető meg: a fejlődés kezdeti szakaszában a gyökérképződéshez, illetve reproduktív szakaszban a virág- és magképződéshez szükséges nagyobb mennyiségű foszfor. A *kálium* igény nagy a vegetatív fázisban, ekkor a levéltömeg kialakulásában és szénhidrátképzésben vesz részt, később a reproduktív fejlődési szakaszban, a tartalékanyagok képzéséhez szükséges.

A tápanyagfelvétel üteme és ritmusa növényfajonként is változó, ezért általánosságban nem határozható meg egyértelműen.

### Kérdések

1. Melyek a növényi tápelemek jellemzői?
2. Milyen mennyiségben fordulnak elő a makro-, illetve mikroelemek a növények szárazanyagában?
3. Melyek a hasznos elemek?

4. Milyen nagyságrendű a toxikus elemek mennyisége a növények szárazanyagában?
5. Milyen csoportokba oszthatók a növényi tápelemek kémiai tulajdonságuk és funkciójuk szerint?
6. Jellemezze az egyes elemek felvételét, szállítását és szerepét csoportonként!
7. Az egyes elemek milyen mennyiségben fordulnak elő a szárazanyagban?
8. Milyen az elemek megoszlása a különböző növényi szervekben?
9. Hogyan változik az elemek mennyisége a szárazanyagban a tenyészidő alatt?
10. Milyen szezonális dinamika figyelhető meg az N-, P-, K-felvételben?

## 5. Tápanyagfelvétel

A növények *gyökéren*, illetve *levélen* keresztül képesek tápanyagokat felvenni.

### 5.1. A gyökéren keresztüli tápelemfelvétel

A növények *gyökéren keresztüli* tápanyagfelvétele aktív és passzív folyamatokban valósul meg. A *passzív* folyamatok energiabefektetés nélkül, fizikai törvényszerűségek alapján játszódnak le, ide tartoznak a diffúzió és az ioncsere-folyamatok. Az ionok a sejt közötti járatokon és a sejtfal pórusain (apoplazma) át passzív úton jutnak el az endodermiszig. A határhártyákon történő átjutás aktív (energiaigényes) transzport folyamat.

A protoplazma külső határhártyáján, a plazmalemmán az ionok általában csak aktív úton tudnak áthaladni. Az *aktív* tápanyagfelvétel specifikus szállítók (carrierek) segítségével valósul meg, melyek lehetővé teszik, hogy a növény a koncentrációkülönbség ellenére is képes ionokat felvenni.

Az ionok a membrán felületén reagálnak a szállítóval (3. ábra). A szállító egy-egy ionra nézve szelektív kötőhelyekkel rendelkezik, ami egyúttal a szelektív tápanyagfelvételt is biztosítja. A szállító-ion komplexus áthalad a membránon. A belső felületen az ion leválik a komplexről és bejut a sejt belsejébe, míg az inaktivált szállító az anyagcsere-folyamatokban regenerálódva, újból résztvesz a tápanyagszállításban.

3. ábra: Az aktív tápanyag-felvétel vázlata

A szállítók aktiválása ATP-tal történik. Az ATP az oxidatív foszforilálásból származik. Ebből következik, hogy a gyökerek aktív ionfelvételét légzésük befolyásolja. A megfelelő oxigénellátás a gyökerek aktív ionfelvételét elősegíti. A növények tápanyagfelvételében az aktív felvétel meghatározó szerepet játszik.

Az N-, P-, K-, Ca-, Mg-, S-ellátás szempontjából a gyökéren keresztüli tápanyagfelvétel döntő jelentőségű, mivel csak így képes a növény a szárazanyag-produkcióhoz szükséges tápanyagot megfelelő mennyiségben felvenni. A növények tápelem szükségletüket a talaj természetes tápanyagaiból, illetve a talajba juttatott trágyákból fedezik.

## 5.2. A gyökéren keresztüli tápanyagfelvételre ható tényezők

A gyökéren keresztüli tápanyagfelvételt közvetve a talajtulajdonságok, a vízellátás és a növényfajok, fajták sajátosságai befolyásolják legnagyobb mértékben.

### 5.2.1. A talajtulajdonságok hatása

A felvételt befolyásoló tényezők:

- a talajoldat koncentrációja,
- pH viszonyok,
- oxidációs, redukciós viszonyok,
- ionarányok a talajoldatban,
- az ionok mozgása

A talajoldat koncentrációját alapvetően az *oldható vegyületek* mennyisége és a vízellátottság szabja meg. A *kémhatás* az oldhatósági viszonyokat módosítja. A mikroelemek vegyületei—a molibdén kivételével—savanyú közegben oldódnak legnagyobb mértékben. Erősen savanyú közegben a mikroelemek toxikus felhalmozódása következhet be (pl. Mn). Lúgos közegben a tápelemek többsége rosszul oldódik. A szélsőséges pH-értékek a mikroszervezetek tevékenységét kedvezőtlenül befolyásolják és ezen keresztül pl. a nitrifikációt is. A makro- és mikroelemek együttes ellátása szempontjából a semlegeshez közel álló pH-értékek tekinthetők optimálisnak.

Az *oxidációs-redukciós* viszonyok elsősorban a talaj szerkezetétől, levegőzöttségétől és nedvességtartalmától függenek. A levegős viszonyok előfeltételei a nitrifikációnak és a zavartalan gyökérlégzésnek.

Rossz szerkezetű talajokon a víz pangóvíz formájában átmeneti, vagy tartós levegőtleniséget okozhat, ami egyes vegyületek, ionok redukciójához vezethet. Reduktív viszonyok között káros jelenség a denitrifikáció, mely nitrogénvesztést idéz elő a talajban. Ugyancsak kedvezőtlen hatást válthat ki a nagyobb értékű vas- és mangánionok redukciója  $\text{Fe}^{2+}$ - és  $\text{Mn}^{2+}$ -ionná, mivel ez felvételüket elősegíti és nagy koncentrációban mindkét ion toxikus hatású.

Az *ionarányok* a talajoldatban az ionantagonizmus, illetve szinergizmus útján fejthetnek ki hatást. A  $\text{K}^+$ -,  $\text{Ca}^{2+}$ -,  $\text{Mg}^{2+}$ -,  $\text{NH}_4^+$ -ionok közötti antagonizmus következtében egy-egy ion túlsúlya a talajoldatban visszaszoríthatja a kis koncentrációban lévő másik ion felvételét.

A növények tápanyagfelvétele nagymértékben függ a *tápanyokok mozgásától* (tömegáramlás és diffúzió) a talajban.

A nagyobb mennyiségben igényelt tápelemek, pl. N, K, P esetében a tápanyagok gyökérhez szállítása szabja meg a táplálkozás ütemét és mértékét. Szálkásperjével végzett kísérletben kimutatták, hogy a szükséges káliumnak mintegy 95 %-át oda kell szállítani a gyökerekhez.

Az ionvándorlás sebessége a talaj tápanyagszolgáltató-képességétől is függ. Az időegység alatt a gyökér egységnyi felületéhez szállított ionmennyiség fejezi ki az *intenzitást*, az összesen szállítható mennyiség pedig a *kapacitás* mértéke.

Az ionok mozgása a talajban csak megfelelő nedvességtartalom esetén lehetséges, száraz talajban csekély a szállítás. Az ionok mozgási sebességét befolyásolja még a hidratáció mértéke és a talajoldat sókoncentrációja. Az ionvándorlás üteme meghatározza a termésképzést (4. ábra).



4. ábra: A szemhozam alakulása a K-diffúzió függvényében (Mengel, 1976)

### 5.2.2. A talajnedvesség szerepe

A tápelemek oldódását, a diffúzió mértékét és az oxidációs-redukciós viszonyokat nagymértékben meghatározza a *talaj víztartalma*. Általában a szabadföldi vízkapacitás 75 %-ának megfelelő víztartalmat tekintik optimálisnak a növények fejlődése szempontjából. Szabadföldön a tenyészidő nagy részében, különösen csapadékszegény időszakokban, ennél lényegesen kisebb a talaj víztartalma. Az optimálist meghaladó vízellátás a N, Ca, Mg csökkent felvételét eredményezheti (8. táblázat).

8. táblázat **Vízellátás hatása a szálkásperje szárazanyagának N-, Ca- és Mg-tartalmára (relatív értékek 4 év átlagában VK 75 = 100%)**

Talaj	Vízellátás (VK%)	N	Ca	Mg
Csernozjom	45	121	101	105
	60	105	95	100
	75	100	100	100
	90	65	80	65
	SzD <sub>5%</sub>	5	5	5
Homok	45	98	119	120
	60	98	108	110
	75	100	100	100
	90	75	89	52
	SzD <sub>5%</sub>	6	7	8

### 5.2.3. Biológiai tényezők hatása

A tápanyagfelvételt a *növényfajok eltérő tápanyagigénye és a növények morfológiai, fiziológiai tulajdonságai* is módosítják. A víz- és tápanyagfelvétel döntő része a gyökércsúcsok közelében elhelyezkedő gyökérszőrőkön keresztül történik. Minél nagyobb a gyökér aktív felülete, annál nagyobb a tápanyagfelvevő felület és annál kisebbek lehetnek a diffúziós utak.

A *gyökérzet kiterjedtsége* növényfajonként változik. A lucerna, kukorica, cukorrépa és rizs gyökérzete mélyrehatoló és így vastag talajrétegeket sző át. A gyökérzet fejlettsége a tápanyagellátottság mértékétől és a talaj tulajdonságaitól is függ (pl. sekély termőrétegű talajok).

A *gyökérfelület nagysága* megszabja az élő gyökér felületen kiválasztott és az elhalt gyökerekből a mikroszervezetek által termelt szén-dioxid mennyiségét. A képződő szén-dioxid a tápanyagok oldódásában játszik szerepet. Az említett tényezők határozzák meg a növények "tápanyagfeltáró" képességét.

### 5.3. Tápanyagfelvétel levélen keresztül

A lomblevelek elsődleges funkciója az asszimiláció, a respiráció és a transzspiráció. Ezenkívül vízben oldott tápelemek felvételére is alkalmasak. A növények szárazanyagában felhalmozott tápelemek közül a szén fordul elő legnagyobb mennyiségben, melyet a növények szén-dioxid formájában kötnek meg. A gázalakú szén-dioxid a levelek sztómain keresztül jut a sejtekbe. A *fotoszintézis* az alapja a felépítő folyamatoknak és az energiaháztartásnak. A növények a CO<sub>2</sub>-fixálás folyamatában a fényenergiát hasznosítják.

A keletkezett szerves vegyületek egy része a *légzésben* oxidálódik. Az ehhez szükséges *oxigént* a növények ugyancsak a sztómaon, illetve a gyökereken keresztül veszik fel. A légzésben keletkezett energia is hozzájárul az anyagcsere-folyamatokhoz. A növény szárazanyag-felhalmozódását a felépítő és lebontó folyamatok különbsége adja.

A növények *termése* a levegő CO<sub>2</sub>-koncentrációjának növelésével emelhető, erre azonban csak zárt térben van lehetőség. A CO<sub>2</sub>-trágyázást kertészeti kultúráknál alkalmazzák.

A növények levélen keresztül ionok és molekulák (pl. karbamid) felvételére egyaránt képesek. A felvételt számos tényező, köztük a levél felülete, formája és elrendeződése, valamint a kutikula szerkezete határozza meg. Az oldat részben a sztómaon, részben a kutikulával borított epidermiszen keresztül hatol a levélbe.

A felvétel mechanizmusa hasonlít a gyökéren keresztüli felvételhez: megkötődés a sejtfalon, illetve szelektív bejutás a protoplazmába. A levélen keresztüli felvételt a gyökéren keresztüli táplálkozás, illetve a növény ellátottságának mértéke is meghatározza. A jól ellátott növények kevesebb tápelemet vesznek fel a levélen keresztül, mint a gyengén ellátottak. Ez utóbbit használjuk ki a permetező trágyázás során.

A permetként alkalmazott oldatok koncentrációját és összetételét gondosan kell megválasztani, hogy ne károsítsák a növényt. Az egyes növényfajok koncentrációtűrő-képessége nagyon eltérő. A tűrőképességet a permetfinomság is befolyásolja.

A levélen keresztüli tápanyagfelvétel lehetőségét kihasználva fejlődött ki a levéltrágyázás, vagy permetező trágyázás. A permetező trágyázás a makroelemellátásban, mint *kiegészítő* trágyázás jön

számításba. Segítségével a növények aktuális tápanyagigénye a tenyészidő során is pótolható. Elsősorban olyan esetekben alkalmazzák, amikor a megfelelő ellátás a talajon keresztül átmenetileg nincs biztosítva. A permetező trágyázás a makroelemellátásban nem helyettesítheti a hagyományos talajtrágyázást.

A permetező trágyázást gyakran használják *mikroelempótlásra*. A növények lényegesen kisebb mikroelemszükséglete levélen keresztül is biztosítható. A mikroelemtrágya permetező trágyaként–különösen lúgos talajon–jobban érvényesül, mint a talajtrágya.

Nem tisztázott kellően a levélen és gyökéren keresztüli tápanyagfelvétel kapcsolata. Feltételezik, hogy a levélen át felvett tápanyagok–különösen azok hiánya esetén–serkentik az anyagcsere-folyamatokat és ennek következtében a gyökér tápanyagfelvételét. Esetenként ugyanis a permetező trágyázás hatására nagyobb a termésnövekedés, mint amennyi a bevitt tápelemek mennyiségével arányos lenne.

Kérdések:

1. Miért meghatározó a gyökéren keresztüli tápanyagfelvétel a makroelemellátásban?
2. Milyen lehetőséget nyújt a levélen keresztüli tápelemfelvétel a növények makro- és mikroelemellátásában?
3. Melyek a tápelemfelvétel aktív és passzív folyamatai, mi jellemzi a két folyamatot?
4. Miként befolyásolják a talajtulajdonságok a gyökéren keresztüli tápelemfelvételt? (az oldható vegyületek mennyisége, a kémhatás, az oxidációs-redukációs viszonyok, az ionok aránya és mozgása a talajban, a talaj víztartalma).
5. Mi a gyökérszet szerepe?
6. Milyen tényezők befolyásolják a levélen keresztüli felvételt és mire kell ügyelni a permetezőtrágyázás során?

## 6. A tápanyagellátás és vízháztartás kapcsolata

A növényi produkció alapfeltétele a megfelelő víz- és tápanyagellátás. A víz egy része a fotoszintézis során beépül a növényi szervezetbe. A növények a felvett víz mennyiségének mintegy 95-98 %-át vízgőz formájában leadják (transzspiráció). A vízháztartást a *vízfelvétel* és a *vízleadás* határozza meg.

### 6.1. A vízfelvételre ható tényezők

A növényi vízfelvétel alapja az *ozmózis*. A vízfelvétel előfeltétele, hogy a talajoldat sókoncentrációja kisebb legyen, mint a gyökérsejtek koncentrációja. A sejtek telítődésével alakul ki a *turgeszcens állapot*. Ha a sejt nem teljesen telített vízzel, *szívóerőt* gyakorol, mely annál nagyobb, minél kisebb a sejt víztelítettsége, illetve minél nagyobb a sejtállomány koncentrációja. A kultúrnövények szívóereje átlagosan 15 bar, a sótűrő növények szívóereje ennek többszöröse.

A növények csak a szívóerőnél kisebb erővel kötött vizet képesek felvenni a talajból, a *kapilláris víz* és a *lazán kötött víz* egy része hozzáférhető számukra. Minél több valamely talajban a kolloid rész, annál nagyobb a hozzá nem férhető *holtvíztartalom*. A holtvíz az a nedvességtartalom, melynél a növényeken a hervadás tünetei tartósan mutatkoznak (hervadásponthoz).

A *hasznosítható* vagy *diszponibilis víz* (DV) mindenkor a nedvességtartalom és holtvíz (HV) különbsége. Vízkapacitásig telített talajnál:

$$DV = VK_{SZ} - HV$$

Szabadföldi vízkapacitáson ( $VK_{SZ}$ ) azt a vízmennyiséget értjük, melyet a talaj a gravitációs erővel szemben vissza tud tartani.

A hasznosítható víz tehát a talajok vízbefogadó és vízvisszatartó képességétől, illetve attól függ, hogy a víz milyen erővel kötődik a talajrészecskékhez.

A víz dipólus jellegű molekulái a talaj pórusaiban a felülethez kötődnek. A felülethez közvetlenül illeszkedő vízréteg kötődik a legerősebben, a felülettől távolodva a vízrétegek egyre gyengébben kötődnek. Azt az erőt, mellyel a víz a talajrészecskék felületéhez kötődik bar-ban fejezik ki, vagy *Schofield* nyomán a pF-értékkel jellemzik.

A pF-érték a víz elszívásához szükséges, vízoszlop cm-ben kifejezett szívóerő tízes alapú logaritmus.

1 ( $10^0$ )	cm vízoszlop	=	0 pF
10 ( $10^1$ )	cm vízoszlop	=	1 pF
100 ( $10^2$ )	cm vízoszlop	=	2 pF
1000 ( $10^3$ )	cm vízoszlop	=	3 pF
10000 ( $10^4$ )	cm vízoszlop	=	4 pF

A vízmegkötés közvetlenül a vizet adszorbeáló felületen vagy annak közelében elérheti a 10000 bar nagyságrendet, ami  $10^7$  cm vízoszlopnak, illetve pF=7-nek felel meg (1 bar =  $10^3$  cm vízoszlop).

A *vízkapacitás*nak megfelelő vízmennyiség az *adszorpciós vízből*, illetve a kapilláris pórusokban visszatartott vízből áll. A *kapilláris víz* kötődése függ a pórusok méretétől: minél kisebb a pórusok átmérője, annál kevésbé hasznosítható. A 0,05 mm-nél nagyobb átmérőjű pórusok pedig nem képesek víz visszatartására.

A pórusok mérete és a bennük lévő víz pF értéke, felvehetősége a 9. táblázatban közölt adatokkal jellemezhető. A növények csak a kis erővel kötött, (pF<4,2) vizet képesek hasznosítani.

9. táblázat **Összefüggés a talaj pórusátmérője és a pF érték között**

Pórusméret	Átmérő $\mu\text{m}$	pF	Víz felvehetősége
Nagy	>50	<1,8	könnyű
Közepes	50-10,1	1,8-2,5	közepes
Finom	10-0,2	2,5-4,2	nehéz
Nagyon finom	<0,2	4,2-	nem vehető fel

A homok, vályog és agyagtalajok pF értékeit a talaj víztartalmának függvényében ábrázolva, jellegzetes görbéket kapunk (5. ábra). A víztartalom növekedésével mindegyik talajon csökken a pF értéke (javul a víz felvehetősége), de eltérő mértékben. A homoktalajon a víztartalom növekedésével hirtelen esik a pF, az agyagtalajon viszont még 29 % víztartalom mellett is 4,2 a pF értéke, vagyis csak az ezt meghaladó víztartalom esetén tudják a növények a vizet hasznosítani.

A görbékről az is leolvasható, hogy az agyagtalaj lényegesen több hasznos vizet tud tárolni, mint a homok-, vagy vályogtalaj, de az agyagtalajon kisebb a hasznosítható víz részaránya, mint a lazább talajokon.

5. ábra: Különböző mechanikai összetételű talajok pF görbéi (Várallyay, 1976)

## 6.2. A vízleadásra ható tényezők

A növény vízfelvétele és vízleadása dinamikus egyensúlyban van a talaj és a levegő víztartalmával:



A növény vízleadása. A transzspiráció fő szervei a levelek. A transzspiráció mértékét a *sztómák száma, eloszlása, nagysága és nyitottsága* szabja meg. A transzspirációt döntő mértékben befolyásoló fizikai tényező a *levegő vízgőztartalma*.

A levegő csak ritkán telített. A mindenkori vízgőzhiányt *vízgőzdeficitnek* nevezzük, mely a levegő lehetséges és tényleges vízgőztartalmának különbsége. A levegő növekvő hőmérséklettel egyre több vizet képes felvenni a telítési állapot eléréséig. Minél nagyobb a vízgőz hiánya, annál nagyobb szívó erő jön létre, ami fokozza a transzspirációt.

A transzspirációt meghatározó *fiziológiai tényező* a sztómák nyitottsági állapota. A sztómák nyílásai a zárósejtek turgorja esetén teljesen nyitottak, ennek csökkenésével záródnak.

A sztómák nyitottségét a fény, hő, vízellátás és más körülmények is befolyásolják. Az egyéb körülmények közül fontos szerepet játszik a tápanyagellátás is. Az egyértékű ionok, pl. a  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ , elősegítik a vízfelvételt és gátolják a transzspirációt. Ellenkező hatást fejtenek ki a kétértékű ionok, pl. a  $Ca^{2+}$  és  $SO_4^{2-}$ , melyek kolloidzsugorító hatásuk következtében gátolják az egyéb anyagok, köztük a víz felvételét is és ugyanakkor elősegítik a transzspirációt.

A *vízmérleg* a felvett és elpárologtatott víz különbségéből számítható. Kiegyenlítettlen vagy deficitese a vízmérleg, ha nagyobb a transzspiráció, mint a vízfelvétel. Ebből következik, hogy forró, száraz napokon jelentős vízhiány léphet fel. Ilyenkor az ozmotikus potenciál megnő és növekszik a gyökerek szívóereje, vagyis a növény a vízhiányhoz bizonyos mértékig tud alkalmazkodni, mégis a vízhiány gátolja a növekedést és a szárazanyag-produkciót.

A tápanyagellátottság az egy- és kétértékű ionok hatásán keresztül kedvezően, illetve kedvezőtlenül befolyásolhatja a vízmérleget. Ez azonban nem szól az egyoldalú táplálkozás mellett; minden esetben harmónikus tápanyagarányok biztosítására kell törekedni.

Az egyértékű ionok túlsúlya, esetenként kedvezőtlen is lehet, mivel nagy víztartalmú termést eredményezhet. Ez utóbbi pl. burgonyánál kedvezőtlen, mivel keményítőtartalom csökkenéssel jár együtt. A vízmérleget a sejtek kolloidtartalma, így fehérjetartalma is befolyásolja. A nagy fehérjetartalmú, fiatal növények kolloidállománya nagy erővel tartja vissza a vizet, ezzel elősegíti a pozitív vízmérleg fenntartását.

## 6.3. Tápanyagellátás és vízhasznosulás

A növények vízigénye növényfajonként változó. A vízfelhasználás mértéke a környezeti tényezők hatására is jelentősen változik, így az éghajlat, a talaj tápanyag- és víztartalma, továbbá a trágyázás nagy mértékben módosítják azt. Optimális tápanyagellátás mellett legkisebb a transzspiráció.

A növények vízigényét a *transzspirációs együttható* jellemzi, mely az egységnyi tömegű szárazanyag előállításához szükséges vízmennyiség (10. táblázat).

10. táblázat **Kultúrnövények transzspirációs együtthatója (Frank és Hank szerint)**

Növény	Transzspirációs együttható
<i>C<sub>3</sub>-as növények</i>	
Rostlen	820
Szójabab	810
Lóhere	775
Burgonya, korai	407
Burgonya, késői	849
Zab	433
Tavaszi árpa	476
Tavaszi búza	577
<i>C<sub>4</sub>-es növények</i>	
Kukorica	314
Köles	222
Kukoricacsalamádé	205
Törpecirok csalamádé	175

A C<sub>3</sub> és C<sub>4</sub> típusú növények vízszükséglete különböző. A C<sub>4</sub>-es kukorica, a köles és a törpecirok fajlagos vízfogyasztása 200-300, míg a C<sub>3</sub>-as növényeké 400-800 kg/ kg szárazanyag.

A transzspirációs koefficiens számértéke a termőhely adottságaitól függően ingadozik (11. táblázat).

11. táblázat **Különböző növények transzspirációs együtthatói (Briggs és Shantz szerint)**

Növény	Transzspirációs együttható	
	szélső értékei	középértéke
Kukorica	315-413	368
Búza	473-559	513
Rozs	502-578	534
Zab	459-622	597
Cukorrépa	-	397
Burgonya	554-717	636
Céklarépa(fehér)	-	743
Borsó	775-800	788
Vöröshere	-	797

A tenyészidőben hullott csapadék általában nem elegendő. A termésképzésben fontos szerep jut a talajban tárolt téli csapadéknak esetenként az öntözésnek. Pl. 40 t/ha cukorrépa-terméshez (10 t szárazanyag), mintegy 400 mm csapadékra van szükség.

*A jó tápanyagellátás javítja a vízhasznosulást, de a több terméshez több vízre van szükség.* Növekvő tápanyagadagok hatására a termés egy bizonyos határig nő, de a nagyobb szárazanyagprodukciónak több vízre van szükség. A nagyobb mennyiségű víz jobban hasznosul, a transzspirációs együttható csökken (6., 7. ábra).

6. ábra: NPK kezelés hatása a szálkásperje szárazanyag-termelésére csernozjom talajon

7. ábra: NPK kezelés hatása a szálkásperje összes és fajlagos vízfogyasztására csernozjom talajon

Az egyes tápelemek és azok kombinációinak hatását a szárazanyag-termelésre és a fajlagos vízfogyasztásra a 8. és 9. ábrán szemléltetjük. Szembetűnő, hogy a fajlagos vízfogyasztás minden kezelésben kisebb, mint a trágyázatlan kontrollban. A legkisebbek a fajlagos vízfogyasztási értékek a nitrogéntartalmú kezelésekben, amelyek a legnagyobb mértékben növelték a termést.

8. ábra: NPK kezelés kombinációk hatása a kukorica szárazanyag-termelésére

9. ábra: NPK kezelés kombinációk hatása a kukorica fajlagos vízfogyasztására

Az ábrán feltüntetett fajlagos vízfogyasztás a ténylegesen transzspirált víz mennyiségén kívül az evaporált (a talajfelszínről elpárolgott) vizet is tartalmazza.

Általánosságban megállapítható, hogy bármely tápelemnek a pótlása, mely adott talajon a növények optimális ellátásához szükséges, jobb vízhasznosulást eredményez.

A fajlagos vízfogyasztás a talaj vízellátottságától is függ. Általában a vízkapacitás 70-80 %-ának megfelelő víztelítettség esetén legkisebb a transzspirációs együttható. Ennél nagyobb víztelítettségénél a transzspirációs együttható ismét nő, vagyis a túl bő vízellátás is kedvezőtlenül hat a vízhasznosulásra.

#### Kérdések

1. Mi határozza meg a növények vízháztartását?
2. Mi a vízfelvétel alapja, milyen talajtulajdonságok befolyásolják a vízfelvételt?
3. Mit tekintünk hasznosítható víznek, hogyan jellemezhető a pF-értékkel?
4. Miben különböznek egymástól a homok-, vályog- és agyagtalaj pF görbéi, milyen következtetések vonhatók le a görbék alapján?
5. Milyen tényezők hatnak a vízleadásra?
6. Mi a sztomák szerepe, hogyan befolyásolja a levegő páratelítettsége a vízleadást, mi az egy- és kétértékű ionok szerepe a vízfelvételben és -leadásban?
7. Mi jellemzi a kiegyenlített és kiegyenlítettlen vízmérleget?
8. Milyen mutatókkal jellemezhető a növények vízigénye?



9. Hogyan különbözik a  $C_3$  és  $C_4$  növények vízszükséglete?
10. Milyen hatása van a termést növelő kedvező tápanyagellátásnak a transzspirációs együttthatóra és az összes vízszükségletre?
11. Hogyan ítéli meg a különböző elemek szerepét a növények vízháztartására a bemutatott példák alapján?

## 7. A tápanyagellátás és a termés mennyiségének kapcsolata

A termés nagyságát a növények növekedése és fejlődése határozza meg. E folyamatokra külső és belső tényezők hatnak. *Belső tényezők*: a növények egyedi, örökölt tulajdonságai, *külső tényezők* a fény, víz, hő, a levegő nedvesség-, oxigén- és szén-dioxidtartalma, valamint a talaj tápanyagtartalma. A felsorolt tényezők közül a tápanyagellátás szabályozható leginkább, éppen ezért a tápanyagellátás és a termés mennyiségének kapcsolata különösen fontos.

*Liebig* a múlt század közepén rámutatott az ásványi táplálkozás szükségességére és megfogalmazta a *minimumtörvényt*. E szerint a termés nagyságát a növények igényéhez képest minimumban lévő tápelem határozza meg (*relatív minimum*). A termést valamennyi tápanyag mennyisége és aránya együttesen szabja meg, de termésnövekedést leginkább a minimumban lévő elem pótlásával lehet elérni.

*Mitscherlich* a XX. század elején kísérletekben vizsgálta a tápanyagellátás hatását a termés nagyságára, matematikai összefüggéseket állapított meg. A *Mitscherlich-törvény* kimondja, hogy a termés a növekedési tényezők hatására növekszik, de a hozamnövekedés nem lineáris, hanem a maximális termés eléréséhez hiányzó résszel ( $A-y$ )-nal arányosan növekszik (10. ábra). A maximális termés ( $A$ ) nagyságát a termőhely adottságai, illetve a növekedési tényezők határozzák meg.

*Mitscherlich-törvénye* azért figyelemre méltó, mivel rámutat arra, hogy a növekvő trágyaadagok egyre kisebb hozamnövekedést eredményeznek. Éppen ezért a műtrágyaadagok növelése csak bizonyos határokon belül ésszerű és gazdaságos.

10. ábra: A termés növekedése a hatástényezők függvényében

A 11. ábrán növekvő N-adagok hatása látható. A növekvő adagok egyre kisebb termésnövekedést ( $e_1, e_2, e_3, \dots e_n$ ) hoznak létre.

11. ábra: Növekvő N-adagok hatása a termésnövekedésre

*Mitscherlich* törvénye a következő formulával írható le:



ahol:

$dy/dx$  = egységnyi tápanyag mennyiségre jutó termésváltozás,

$c_1$  = konstans,

(A-y) = maximális terméshez még hiányzó rész

A görbe lefutását a  $c_1$  konstans értéke határozza meg. Minél nagyobb a  $c_1$  értéke annál meredekebben emelkedik a görbe és annál előbb érjük el a maximális termést.

A  $c_1$  konstans értéke a gyakorlati növénytaplálás szempontjából is fontos, mert ez mutatja meg, hogy valamely tápelemből sok, vagy kevés kell. Mitscherlich ezt az állandót *hatóértéknek* nevezte. A három fő tápelemre a következő hatóértékeket állapította meg:

$$C_N = 0,2 \quad C_{K_2O} = 0,4 \quad C_{P_2O_5} = 0,6$$

A N, K, P hatásgörbéket a 12. ábrán mutatjuk be.

12. ábra: N-, P-, K- termésgörbék (Boguslawski, 1958)

Mitscherlich azt is megállapította, hogy a törvény csak bizonyos határok között érvényes. Így pl. egy-egy tápanyag túladagolása esetén *terméscsökkenés* léphet fel.

Később más kutatók bizonyították, hogy a  $c_1$  értéke növényfajonként változó és nagysága a mindenkor elérhető legnagyobb termés nagyságától is függ.

*Spillmann*, Mitscherlich-től függetlenül, hasonló elvi alapon azonos törvényszerűséget állapított meg a termés és a növekedési tényezők között.

Kérdések

1. Mit mond ki a Liebig törvény és hogyan kell értelmeznünk a minimumban lévő tápelem fogalmát?
2. Mit mond ki a Mitscherlich törvény, hogy kell értelmeznünk a maximális termés fogalmát?
3. Mit fejez ki a  $c_1$  hatóérték a Mitscherlich formulában, mennyi a számértéke a három fő tápelemre?

## 8. A tápanyagellátás hatása a termés minőségére

A termés minőségét a növények genetikai tulajdonságai és a környezeti tényezők határozzák meg. A környezeti tényezők hatása lehet pozitív és negatív.

Az 1970-80-as évek egyik vitatott kérdése volt, hogy az intenzív műtrágyázás, a termések növekedése nem rontja-e termékek minőségét. Általánosságban megállapítható, hogy a hiányos tápanyagellátás rontja a minőséget, és a termésképzés szempontjából optimális ellátás biztosítja a jó

minőséget. Kivételt képez a cukorrépa és a sörárpa. Az optimálist meghaladó ellátás egyes kultúráknál javítja, másoknál pedig rontja a minőséget.(13. ábra).

### 13. ábra: A trágyázás hatása a termés mennyiségére és minőségére

Ebből következik, hogy a termék minőségi követelményeihez igazodó céltudatos tápanyagellátás javítja a minőséget és csak a túlzott trágyázás rontja.

A mezőgazdasági termékek egy része élelmiszer, vagy takarmány, másik része pedig ipari nyersanyagként kerül felhasználásra, minősítésüket is ennek megfelelően kell végezni. Mások a sörárpa és a takarmányárpa, vagy a rostlen és olajlen minőségi követelményei. Az ipari felhasználás szempontjából döntő jelentőségű a termények cukor-, keményítő-, cellulóz-, zsír- és olajtartalma. A tápértéket az energiatartalom, az ember illetve állatok számára nélkülözhetetlen tápanyagok, ásványi anyagok és a vitamintartalom határozza meg. A minősítés általában a felsorolt mutatók alapján történik.

A minőség jellemzését nehezíti, hogy a közvetlen fogyasztásra alkalmas mezőgazdasági termények számos olyan tulajdonsággal rendelkeznek, melyek elsősorban szubjektív módon ítéltethők meg, pl. íz, illat, zamat, szín stb.

A növényi tápelemek egyrészt építőkövei a minőséget meghatározó vegyületeknek, másrészt az anyagcsere-folyamatok szabályozásán keresztül fejtik ki hatásukat. Éppen ezért döntő jelentőségű, hogy a fejlődés különböző szakaszaiban a tápanyagok *megfelelő mennyiségben és arányban* álljanak rendelkezésre.

Általánosságban elmondható, hogy a bőséges nitrogénellátás a fehérjeképződést, a jó káliumellátás a szénhidrátképződést segíti elő. A szénhidrátok képződését a fotoszintézisben és citromsavciklusban szerepet játszó K-, és Mg-ionok szabályozzák, szükség van azonban megfelelő P- és B-ellátásra is. Jó K-ellátás fokozza a szénhidrát anyagcserét, több asszimiláta képződik. A bőséges N-ellátás viszont az aminosavak és aminok képződését segíti elő, növekszik a nyersfehérjetartalom.

#### Kérdések

1. Milyen mutatókkal jellemezhető a mezőgazdasági termékek minősége?
2. Hogyan befolyásolja a trágyázás a termékek minőségét, mit tudunk az egyes elemek hatásáról?

#### 8.1. Gabonafélék

Az élelmezési célokra felhasznált *búza* fontos minőségi követelménye, hogy a szemtermésben a viszonylag nagy keményítőtartalom (70 %) mellett, minél nagyobb legyen a fehérjetartalom. A

fehérjetartalom (siker) kedvezően befolyásolja a liszt sütőipari értékét és a kenyér emészthetőségét. A takarmányozásra felhasznált gabonaféléknél is kívánatos, hogy az energiaszolgáltató keményítő mellett, minél több legyen a fehérje.

A *nitrogéntrágyázás* megfelelő adagban és időben alkalmazva a termés mennyiségét és minőségét egyaránt kedvezően befolyásolja. A nitrogéntrágyázás hatása gabonánál nagymértékben függ a trágyázás időpontjától.

A vetéssel egyidejűleg adott nitrogén *alaptrágya* elsősorban a vegetatív fejlődésre hat, növeli az állománysűrűséget, de a dőlési veszélyt is fokozza. A tavaszi *fejtrágyázás* ugyancsak növeli az állománysűrűséget, de kedvező hatása a kalásonkénti szemszámra is. A szemképződés idején adott *kiegészítő* N-trágya a gabonaszem nyersfehérjetartalmát emeli. N-15-ös izotópokkal végzett kísérletekben kimutatták, hogy a szemképződés időszakában adott kései N-adagok elsősorban a szemben halmozódnak és csak kisebb mértékben a vegetatív szervekben.

A fehérjetartalom növekedését általában a keményítőtartalom csökkenése kíséri. A kiegészítő N-adagok esetenként a termés nagyságát is növelik, ami a fehérjehozam növekedését eredményezi (12. táblázat).

12. táblázat **Kiegészítő N-adagok hatása a búza termésére és minőségére (Amberger, 1976)**

Trágyázás	Termés t/ha	Fehérje- tartalom %	Fehérje- hozam kg/ha
PK+140 kg N	4,98	13,8	690
Kiegészítés:			
+ 40 kg N	5,21	14,5	760
+ 80 kg N	5,40	15,3	830

A kései N-adagok a tartalékfehérjék: (*glutelin*, és *prolamin*) mennyiségét növelik (14. ábra).

14. ábra: A fehérjefrakciók változása kiegészítő N-trágyázás hatására (Amberger, 1977)

A különböző fehérjefrakciók aránya is változik hatásukra: a glutelin és prolamin mennyiségének növelésével csökken a *globulin* és *albumin* részarány. E megfigyelés az emberi és állati táplálkozás szempontjából egyaránt fontos, mivel a fehérjefrakciók arányának megváltozásával az esszenciális aminosavak aránya is változik. A *lizin* pl. a globulinban és albuminban nagyobb mennyiségben van jelen, mint a prolaminban, így a lizin viszonylagos mennyisége a kései N-adagok hatására csökken. A lizin csökkenését a kukoricánál is kimutatták, nagy N-adagok használatánál.

Közép- és Nyugat-Európa több országában a tavaszi N-adagot megosztják. Az enyhébb éghajlatú és csapadékosabb országokban a N nagyobb részét tavasszal adják, több kisebb adagban. Hazánkban elsősorban az őszi alaptrágya, tavaszi fejtrágya megosztás szokásos. Környezetvédelmi megfontolásból célszerű az őszi N-adagot minimálisra csökkenteni, esetleg a helyi viszonyoktól függően elhagyni, mivel az őszi és téli időszakokban legnagyobb a kimosódás veszélye.

A kései, kiegészítő permetezőtrágyázás karbamid oldattal végezhető. Hazánkban Debreczeni és Ragasits (1994) közöltek adatokat a növekvő N-adagok tavaszi megosztásának kedvező hatásáról. A kiegészítőtrágyázás mégsem terjedt el, mivel hatása országosan nem igazolódott.

A gabonamagvak fehérjetartalma és a *B-vitamin* csoportba tartozó vitaminok (*tiamin, riboflavin, és nikotinsav-amid*) mennyisége között szoros a kapcsolat, így a fehérjetartalom növekedésével a vitamintartalom is nagyobb lesz.

*Sörárpa* termesztésénél a nagyobb szénhidráttartalom és kisebb fehérjetartalom elérése a cél, ezért ez esetben a N-adagokat mérsékelni, a K- és P-adagokat pedig növelni kell, a takarmányárpa NPK adagjaihoz képest.

#### Kérdések

1. Milyen hatást fejtenek ki a különböző fejlődési szakaszokban alkalmazott N-adagok a gabonafélékre?
2. Hogy alakul a fehérjetartalom, a fehérjefrakciók aránya, az aminosavösszetétel, illetve a B-vitamintartalom a kései N-adagok hatására?
3. A gabonafélék N-trágyázásának hazai gyakorlata?
4. Miért kell a sörárpat és takarmányárpat eltérően trágyázni?

## 8.2. Gyökér- és gumósnövények

### 8.2.1. Cukorrépa

A *cukorrépa* termése 1960-1975 között országos átlagban növekedett, a cukortartalom pedig csökkent. A termés növekedése ebben az időszakban nem kompenzálta a cukortartalom csökkenését, a cukorhozam is csökkent. Az 1970-es évek közepétől a gyökértermés és a cukortartalom egyaránt növekvő tendenciájú (lásd 5 éves átlagok), azonban évenként ingadozik (13. táblázat).

13. táblázat **A cukorrépa vetésterülete, termése és cukortartalma Magyarországon (Cukoripari adatok)**

Évek	Vetésterület 1000 ha	Gyökértermés t/ha	Átvételkor cukortartalom %
1971-75	93,3	32,6	14,8
1976-80	116,5	33,9	15,7
1981-85	115,0	38,9	15,7
1986	104,0	36,1	16,9
1987	117,0	36,3	16,5
1988	106,8	39,7	15,3
1989	104,9	44,0	15,2
1990	112,4	36,0	16,4
1986-90	109,0	38,3	16,1
1991	136,0	40,8	15,2
1992	96,0	28,9	15,7
1993	83,0	25,1	15,1
1994	106,0	34,0	14,9
1995	123,0	35,4	15,0
1991-95	108,8	32,8	15,2
1996	111,0	41,7	15,3
1997	96,0	41,5	16,3
1998	83,0	47,3	14,2

A N-trágyázás növeli a cukorrépa termését, azonban a N-felesleg kedvezőtlen hatású, mivel a nagyobb termésben általában kisebb a cukortartalom. A N-felesleg növeli a cukor kinyerését akadályozó ún. "káros N"-tartalmat, melyet a kékszámmal jellemeznek (15. ábra).

15. ábra: A N-adagok hatása a cukorrépa termésmennyiségére és –minőségére (Amberger, 1977)

A szénhidrátok képzésében jelentős szerepe van a *káliumnak*. A szénhidrát-anyagcserében közbülső terméként ketosavak keletkeznek, ezekhez kapcsolódik a szerves formában felvett nitrogén, aminosavak, majd fehérjék képződnek. E folyamatokat a kálium elősegíti. Amennyiben a növény több nitrogént vesz fel, mint amennyi a ketosavak aminosavakká alakításához szükséges, savamidok képződnek. Az amidok közül a *glutamin* képezi a cukorkinyerés szempontjából „káros N” legnagyobb részét. A szénhidrátok képzésében a *magnéziumnak* és a *bórnak* is fontos szerepe van.

A termés nagysága és minősége szempontjából a répalevélben lejátszódó folyamatok döntő jelentőségűek. A minőséget az asszimiláták vándorlási sebessége, a szénhidrát-transzport zavartalansága is meghatározza.

*Kiegyensúlyozott trágyázással* elő kell segíteni, hogy nagy cukortermelés mellett, megfelelő mennyiségű ketosav képződjön és így a növény a felvett nitrogént–aminosavakon keresztül–fehérjévé tudja átalakítani. A répának elsősorban a kezdeti fejlődéshez kell nitrogént biztosítani. Kerülni kell, hogy a fejlődés kései szakaszában nagyobb mennyiségű nitrogént vegyen fel, mert ez káros N-felhalmozódáshoz vezethet. Az optimálist megközelítő N-ellátást az nehezíti, hogy nem tudjuk elég pontosan megbecsülni a tenyészidőszak alatt a talajból mobilizálódó N-mennyiségét.

A jó cukorrépaterméshez, a *pontosan kiszabott N-adagok* mellett, megfelelő mennyiségű *foszfor* és *kálium* szükséges. A növekvő K-adagok hatását a cukortartalomra, a cukorhozamra és a káros nitrogént jellemző "kékszámra" ( $\infty$ -amino-N mennyisége) a 14. táblázat szemlélteti.

14. táblázat **A K hatása a cukorrépa cukor- és káros N-tartalmára**  
(Amberger, 1976 nyomán)

	K <sub>2</sub> O kg/ha			
	0	160	320	480
Cukortartalom, %	17,8	17,9	18,2	18,2
Cukorhozam, t/ha	8,55	8,84	8,70	9,0
„Kékszám”	43	38	36	37

#### 8.2.2. Burgonya

A *burgonya* szárazanyagának több mint 70 %-a *keményítő* és mintegy 10 %-a *fehérje*. A keményítő, mint energiahordozó játszik fontos szerepet a táplálkozásban. A fehérje döntő többsége *tuberin*, mely esszenciális aminosavtartalma miatt értékes és jól kiegészíti a gabonafehérjéket. Az emberi táplálkozás szempontjából még a burgonya C-vitamintartalma is fontos.

*N-trágyázással* jelentősen növelhető a burgonya termése, fehérjetartalma és a fehérjehozam (15. táblázat). A *K-trágyázás* növeli a burgonya termését, a keményítő- és C-vitamin tartalmat (16. táblázat). A *foszfor* pedig a keményítő minőségére hat kedvezően.

15. táblázat **A N-ellátás hatása a burgonyagumó fehérjetartalmára**  
(Kämpf, 1961)

Fajta	N-adag kg/ha	Gumó t/ha	Fehérje- tartalom %	Fehérje- hozam t/ha
Maritta	0	30,0	6,8	2,0
	40	36,5	6,2	2,3
	80	44,7	7,3	3,3
	120	44,1	9,6	4,2
	40	48,8	6,3	3,1

Éva	80	54,0	7,7	4,2
	120	54,5	9,2	5,0

16. táblázat **A K-hatása a burgonya termésére és keményítőtartalmára (Braunschweig, 1972, Mengel, 1961)**

K <sub>2</sub> O kg/ha	Gumó t/ha	Keményítő (zöldtömeg) %
0	27,5	15,3
120	30,8	15,7
160	31,7	15,9
220	33,8	16,0

A *kálium-klorid* nagyobb adagban alkalmazva csökkenti a burgonya keményítőtartalmát, mivel a *kloridionok* nagy koncentrációja kedvezőtlenül befolyásolja az asszimiláták vándorlását a levélből a gumóba. Ezért nagyobb K-műtrágyaadagoknak legalább a felét *kálium-szulfát* formában célszerű adni. A *bór* a szénhidrát-transzportot segíti elő, ezért bórhiányos talajon szükséges a burgonya bórtrágyázása is.

A *magnézium* a fotoszintézis és citromsavciklus egyes folyamatainak aktiválásán keresztül részt vesz a szénhidrátok képzésében. Ezért magnéziumhiányos talajokon a magnéziumtrágyázás is szükséges. *Kemenessy* és *Nyéki* somogyi Mg-szegény homoktalajokon végzett kísérleteiben a Mg-kezelések hatására növekedett a burgonya termése és keményítőtartalma.

Az *étkezési burgonya* minősége függ a redukáló cukor- és a szabad aminosavtartalomtól is, mivel e vegyületek a sült burgonya ízére és színeződésére hatnak. A burgonya nagy K-tartalma csökkenti az említett vegyületek mennyiségét és mérsékli a barnulást kiváltó enzimatisz folyamatokat. Többnyire a K-tartalommal arányos a burgonya citromsavtartalma is, amely megakadályozza a mechanikai hatásokra fellépő kék foltosságot és a főzés során bekövetkező feketedést.

Kérdések:

1. Milyen a növekvő N-adagok hatása a cukorrépa termésére, illetve a cukortartalomra?
2. Milyen feltételek között alakul ki a káros N-tartalom a répában és mi a következménye?
3. Miért nehéz megállapítani a cukorrépa optimális N-adagjait?
4. Melyek a burgonya minőségi mutatói, milyen szerepe van az N-, P-, K-trágyázásnak a termés és minőség alakításában?
5. Nagy káliumadagok alkalmazása esetén miért nem célszerű kálium-klorid műtrágyát használni?
6. Milyen szerepe lehet a Mg-, illetve B-trágyázásnak a burgonyánál?
7. Milyen hatású a K-trágyázás az étkezési burgonya minőségére, milyen tulajdonságokat javít?

### 8.3. Olajnövények



A repce és len termésében nagy az olaj- és nyersfehérjetartalom. A N-trágyázás mindkét tápanyagigényes kultúra termését és nyersfehérjetartalmát növeli. Nagy N-adagok hatására a *nyersfehérjetartalom az olajtartalom* rovására növekszik (16. ábra). A termésnövekedés azonban általában kompenzálja a nyerszsír kisebb mértékű csökkenését. A *jódszám*, amely a biológiailag értékes telítetlen zsírsavak mennyiségével arányos, kedvező irányban változik a N-trágyázás hatására (17. táblázat).

16. ábra: A N-adagok hatása a lenmag olaj- és nyersfehérje tartalmára (Amberger, 1977)

17. táblázat **Növekvő N-adagok hatása az őszi repce termésére és minőségére (Amberger, 1976)**

N kg/ha	Szemtermés		Nyerszsír		Nyersfehérje	
	t/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	Jód- szám
0	2,07	45,4	810	24,6	430	96
50	2,64	45,0	1020	25,7	570	96
100	2,69	44,0	1020	27,0	610	98

A napraforgó meghalálja az *optimális N-ellátást*, de a N-felesleg káros, csökkenti az olajtartalmat, a betegségekkel szembeni ellenálló képességet és kinyújtja az érést. Különösen fontos a napraforgó *jó K-ellátása*, mivel növeli az ezermagtömeget és az olaj telítetlen zsírsavtartalmát. A *foszfor* pedig a zsírsavak szintézisét segíti elő. Emiatt a *jó minőség feltétele* a mérsékelt N-, illetve a bőséges P-, K-ellátás

A telítetlen zsírsavak mennyisége függ a tenyészedőszak hőmérsékleti viszonyaitól is, alacsonyabb hőmérsékleten több telítetlen sav képződik. Az egykori Szovjetunióban különböző szélességi fokokon termesztett olajlen jódszámai között jelentős különbségeket (Taskent 156, Arhangelsz 200) mértek.

Kérdés

1. Miként befolyásolja a N-trágyázás az olajnövények termését, olajtartalmát és a jódszámot; mitől függ még a telítetlen zsírsavak mennyisége?

#### 8.4. Gyeppek

A természetes gyeppek, rétek és legelők, valamint a telepített gyeppek takarmányminőségét több tényező: az *emészthetőség*, a *nyersfehérje- és ásványianyag-tartalom* határozza meg.

Az *emészthetőséget* nagymértékben befolyásolja a cellulóz, hemicellulóz és lignintartalom. Gyakori kaszálással fehérjegyazdag és viszonylag rostszegény takarmány nyerhető, mert ekkor a fű nem

öregszik el. A fű öregedésével a nyersfehérjetartalom csökken, a rosttartalom nő. Az ásványianyagtartalom szintén a fiatal fűekben nagyobb.

A trágyázásban különbséget kell tennünk a természetes és telepített gyepek között. A nitrogéntrágyázás általában növeli a terméshozamot és a nyersfehérje-tartalmat. Szükségesen nagy adagok (400 kg N/ha felett) alkalmazásakor a fűek fehérjetartalma megduplázódhat. Ebben az esetben azonban a szabad aminosav és a nitrát-N-tartalom is nagymértékben megemelkedik, ami nem kívánatos (18. táblázat).

18. táblázat **A növekvő N-adagok hatása a perje frakcióinak változására (Goswami és Willcox, 1969)**

N kg/ha	Összes N	Fehérje-N	Szabad- aminosav-N	Nitrát- és nitrit-N
0	1,32	0,98	0,16	0,04
55	1,53	1,10	0,16	0,04
110	1,89	1,26	0,21	0,06
220	1,69	1,75	0,31	0,17
440	3,73	2,06	0,56	0,35
880	3,93	2,34	0,59	0,35

A kedvezőtlen hatások elkerülésére a nitrogént kisebb adagokban és kaszálásonként megosztva kell adni. A kisebb N-adagok is jelentősen növelik a termés nagyságát és a keményítőhozamot (19. táblázat).

19. táblázat **Növekvő N-adagok hatása a gyeptermeisére és keményítőhozamra (3-szori kaszálás) (Schechtner és Deutsch, 1966)**

Kezelés kg/ha N	Termés t szárazanyag/ha	Keményítő- hozam t/ha
PK	6,1	3,0
PK+60 N	7,0	3,3
PK+120 N	7,9	3,7
PK+240 N	9,4	4,1

A természetes gyepek trágyázásánál azt is figyelembe kell venni, hogy megváltozhat a rétek és legelők növényi asszociációja, s ennek következtében a takarmány minősége. A N-trágyázás hatására megváltozik a pázsitfűfélék, pillangósok és egyéb lágyszárúak aránya; a fűek mennyisége nő a pillangósok és lágyszárúak rovására. A nagyobb pillangós arálynak a N-szegény trágyázás kedvez (20. táblázat).

20. táblázat **A botanikai összetétel változása gyepeken a trágyázástól függően (Mengel, 1976)**

Kezelés	Füvek	Pillangósok	Egyéb lágyszárúak
Ø	67	6	27
NP	67	7	26
NK	59	9	32
PK	63	21	16
NPK	77	8	15

A pillangósok és egyéb lágyszárúak több nyersfehérjét és ásványi anyagot tartalmaznak, mint a füvek, ezért kedvezőtlen részarányuk csökkenése (21. táblázat). Tekintettel arra, hogy N-trágyázással a termés nagysága és a füvek fehérjetartalma is növelhető, a gyakorlatban elsősorban erre törekszenek, kiegyensúlyozott NPK adagokkal.

21. táblázat **A füvek, a pillangósok és az egyéb lágyszárú növények nyersfehérje- és ásványianyag-tartalma szárazanyag %-ban (König, 1957)**

	Füvek	Pillangósok	Egyéb lágyszárúak
Nyersfehérje	10,5	18,0	12,4
SiO <sub>2</sub>	2,83	0,44	1,46
Tiszta hamu	5,58	8,57	9,43
K <sub>2</sub> O	2,45	2,14	2,83
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,05	0,10
CaO	0,84	2,75	2,29
MgO	0,41	0,64	0,89
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,59	0,58	0,76
Cl	0,67	0,28	0,55

A P- és K-ellátás határozza meg a fű ásványianyag összetételét. Az állatok zavartalan ásványianyag-ellátása megkívánja, hogy a széna *P-tartalma* legalább 0,25-0,30 % legyen. A rétek és legelők trágyázására gyakran használnak trágyalevet. Ebben az esetben a foszfor pótlásáról külön kell gondoskodni, mivel a trágyalé foszfortartalma egy nagyságrenddel kisebb, mint a N- és K-tartalom (N = 1,0; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 0,1; K<sub>2</sub>O = 1,5 %).

Kedvező, ha a takarmányok mintegy 0,4 %-nyi Ca-ot és 0,25 % Mg-ot tartalmaznak. A túlzott K-trágyázás visszaszoríthatja a Ca és Mg felvételét, ezért ezt kerülni kell. A Mg hiánya a takarmányban, *tetániát* válthat ki a tejelő teheneknél, ilyenkor a Mg-szint a vérszérumban 1 mg/100 ml kritikus érték alá csökken. A fű nagy K-tartalma a Mg reszorbeálhatóságát rontja az állati szervezetben.

A takarmányok táplálkozásélettani értékét a *mikroelemtartalom* is befolyásolja. Valamely elem hiánya a talajban kis mikroelemtartalmat okoz a növényben, s ennek következtében hiánybetegségek léphetnek fel az állatoknál. Így pl. Cu-hiányos talajon Cu-hiánybetegséget

figyeltek meg. A Cu-hiánybetegség azonban nemcsak Cu-hiány esetén léphet fel, a Mo-felesleg is kiválthatja, mivel a Cu és Mo élettani hatása antagonisztikus. A Co mint B<sub>12</sub>-vitamin fémkomponense elsősorban az állati táplálkozás szempontjából jelentős, így a Co-hiány is megbetegedésekhez vezet. A Co-ellátottságot is kedvezőtlenül befolyásolja a Mo-felesleg. A mikroelemek hiánya mikroelemtrágyázással pótolható.

Az előzőekből kitűnik, hogy a rétek és legelők trágyázásánál is nagy körültekintéssel kell eljárni. Külön figyelmet érdemel, hogy a talaj mikroelemhiánya a talaj-növény-állat-ember láncolaton keresztül olyan esetekben is kedvezőtlen hatású lehet, amikor természsökkenés nem mutatkozik.

#### Kérdések

1. Milyen mutatókkal jellemezhető a rétek, legelők takarmányminősége?
2. Mitől függ a takarmányok emészthetősége és hogyan javítható?
3. Hogyan hat a N-trágyázás a termés mennyiségére és minőségére, miként kerülhető el a nagy adagok káros hatása?
4. Hogyan változik meg a természetes gyepek növényi asszociációja trágyázás hatására és a változás, miként befolyásolja a minőséget?
5. Melyek az ásványianyag-tartalommal szemben támasztott követelmények, mi a makro- és mikroelemek szerepe?
6. Milyen szempontokat kell figyelembe venni a gyepek trágyázásánál?

#### 8.5. Zöldség és gyümölcs

A zöldség és gyümölcs minőségét is alapvetően a genetikai tulajdonságok határozzák meg, a trágyázás pedig módosítja. Legismertebb a *K-trágyázás* kedvező hatása a szénhidrát és a C-vitamin képződésére. Egyes tápelemek feleslege, illetve hiánya károsan befolyásolhatja a minőséget.

A *N-felesleg* pl. spenótnál nem kívánatos nitrátfelhalmozódáshoz vezet. Tulajdonképpen nem a nitrát mérgező, hanem a belőle mikrobiológiai redukció során képződő nitrit, mely a tárolás és feldolgozás során keletkezik. A nitrit a hemoglobin oxigéntranszportját akadályozza, így fejt ki mérgező hatását. Különösen veszélyes csecsemőkre. A nitrátredukció esetenként karcinogén hatású nitrozo-aminok képződéséhez vezethet.

A *nagy nitráttartalom* különösen veszélyes a közvetlen fogyasztásra kerülő zöldségek, illetve takarmányok esetében. Spenótnál 2 mg, takarmányoknál 4 mg NO<sub>3</sub>-N/g szárazanyag tekinthető kritikus értéknek. A nitrát csak szélsőségesen nagy N-adagok hatására halmozódik fel káros mennyiségben. Fokozott a veszély a zöldségtermesztésben, ahol viszonylag nagy a műtrágyafelhasználás. A spenót nitráttartalma a növekedés egyéb feltételeitől is függ. A kedvező fényviszonyok között nevelt tavaszi spenót nitráttartalma kisebb, mint a gyenge fényviszonyok között termelt spenóté.

A *vitamintartalom* genetikailag erősen determinált, mégis kimutatható a trágyázás módosító hatása. A nitrogén növeli a sárgarépa és paradicsom karotintartalmát. A K elősegíti a C-vitamin képződését, a N viszont visszaszorítja.

A *gyümölcsök* minőségét nagymértékben meghatározza a szénhidrát és savtartalom. A jó minőség biztosításához elsősorban megfelelő K- és P-ellátásról kell gondoskodni.

Az *almánál*, mészben szegény talajon, a Ca-utánpótlásra is szükség lehet, mivel Ca-hiány miatt gyümölcsszövet megbetegedés, keserűfoltosság (stipplesedés) léphet fel. A beteg gyümölcsre jellemző, hogy az almahús szárazanyagában a Ca-tartalom kisebb, mint 200 ppm, ilyenkor a K- és Mg-tartalom többnyire nagy. A Ca-hiány lehet a N-felesleg következménye is.

A *paradicsom* Ca-hiánybetegsége a gyümölcscsúcs rothadás, mely különösen K-felesleg esetén tapasztalható.

A gyümölcsök íz- és zamatanyagait a fény- és hőviszonyok is determinálják. Hazánkban viszonylag kedvezőek a klímaviszonyok a gyümölcsstermesztéshez.

#### Kérdések

1. Miért káros a sok N használata a zöldségféléknél?
2. Milyen a trágyázás hatása a zöldségfélék vitamintartalmára?
3. Hogyan befolyásolja a trágyázás a gyümölcsök minőségét?
4. Mire kell ügyelni a zöldség- és gyümölcsstermesztésben Ca-szegény talajon?

### 9. Talajkémiai ismeretek

A talajok termékenysége alapvető feltétele a szántóföldi növénytermesztésnek. A termékenység számos tulajdonság függvénye, ezek közül kiemelkedő fontosságú a tápelemtartalom, mely az egyéb környezeti tényezőkkel együtt határozza meg a növények produkcióját.

A talaj *szilárd fázisa* szerves és szervetlen alkotórészekből áll, ez a tulajdonképpeni tápanyagforrás, illetve tápanyagraktár. A *flyékony fázis* a talajoldat, melyben vizen kívül sók és egyéb vegyületek találhatók oldott állapotban. A talajoldat különböző fizikai-kémiai és biológiai folyamatok színhelye (oldódás, diffúzió, ioncsere, tápanyagfelvétel stb.). A *gázfázis* a talajlevegő, melynek fő alkotórésze a N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> és vízgőz. A kultúrnövények és a mikroszervezetek gázcseréjét teszi lehetővé. A három fázis együttesen biztosítja a kultúrnövények és mikroszervezetek életfeltételeit.

A talaj *összes tápanyagtartalmának* legnagyobb része természetes eredetű, kisebb része mesterséges úton, emberi beavatkozás révén jutott a talajba. A növények tápanyagellátása szempontjából döntő, hogy a talaj tápanyagai milyen formában vannak jelen és mennyire

mobilizálhatók. Fontos továbbá, hogy a műtrágyákkal és szerves trágyákkal talajba vitt tápanyagok milyen mértékben érvényesülnek, ez viszont a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaitól függ.

Kérdés

1. Mi a szerepe a talaj szilárd, folyékony és gázfázisának a növények táplálásában?

### **9.1. Tápanyagformák a talajban**

A tápelemek különböző formákban, illetve kötésben vannak jelen a talajban (tápanyagok), ennek következtében különböző mértékben hozzáférhetőek a növény számára. Az összes tápelemtartalomnak csak kis része hasznosítható közvetlenül. Általában a következő tápanyagformákat különböztetjük meg:

- oldható tápanyagok,
- kicserélhető tápanyagok,
- biológiailag kötött tápanyagok,
- fixált és egyéb kötött tápanyagok,
- tartaléktápanyagok.

*Oldható, vagy könnyen oldható tápanyagok* azok, melyek vízben, híg sóoldatokban, vagy savakban oldódnak. A könnyen oldható tápanyagokat gyakran "felvehető"-ként jelölik. Ez a megnevezés pontatlan, mivel a növények számára ténylegesen felvehető tápelemek mennyisége számos tényezőtől függ. A laboratóriumban meghatározott könnyen oldható tápanyagtartalom mennyisége függ az oldáshoz használt szer erősségétől és az oldás módjától, ezért minden esetben meg kell adnunk, hogy milyen módszerrel végeztük a vizsgálatot.

A *kicserélhető tápanyagokhoz* a kolloidokon Coulomb erővel kötött fémkationokat és az  $\text{NH}_4^+$ -iont soroljuk. A kolloidokon adszorbeált kationok ioncserefolyamatokban kicserélhetők, ezért ezeket kicserélhető kationoknak is nevezik. A kicserélhető kationok és a talajoldat ionjai között mindenkor egyensúly áll be.

A növények csak az oldható és a kicserélhető tápanyagokat tudják közvetlenül hasznosítani. A tápanyagok legnagyobb része nehezen oldható szervetlen, vagy szerves vegyületek formájában van jelen a talajban. Ezek csak fizikai-kémiai mállás, illetve a szerves anyag elbontása után hozzáférhetőek. A *természetes tápanyagutánpótlást* tehát egyrészt a mállási folyamatok, másrészt a szerves anyagok ásványosodása, mineralizációja teszi lehetővé. Ez utóbbi a mikroszervezetek közreműködésével játszódik le. A talajokban a nehezen oldható készletek mobilizációjával párhuzamosan–mindig előfordulhat *tápanyaglekötődés* is.

A *biológiai* kötött tápanyagok csoportját a gyökérmaradványok, szerves trágyák és egyéb szerves anyagok tápanyagtartalma képezi, mely csak átmenetileg kötött és a mikroszervezetek tevékenysége révén újból szabaddá válik. Ide sorolható a mikroszervezetek által időszakosan megkötött tápanyagtartalom is (lásd pentozánhatás). A biológiai kötött tápanyagtartalom a talaj tápanyagkészletének állandóan megújuló része, mely nagymértékben hozzájárulhat a növények ellátásához.

*Fixált tápanyagoknak* a háromrétegű (2:1 típusú) agyagásványok rétegrácsai között irreverzibilisen megkötött tápanyagokat nevezzük. Így pl. a  $K^+$ -ion illitekhez, vermikulitokhoz és szmektittekhez kötődhet. A fixálás következtében az egyébként duzzadóképes agyagásványok elvesztik e tulajdonságukat. A beépült  $K^+$ -ionok szorosra zárják a rétegeket és ezért nem cserélhetők ki ioncsere révén. A  $K^+$ -hoz hasonlóan az  $NH_4^+$ -ionok is fixálódhatnak. Az irreverzibilisen megkötött  $NH_4^+$ - és  $K^+$ -ionok csak az ásványok mállása révén szabadulnak fel, így a növények számára közvetlenül nem hozzáférhetők.

A fixált tápanyagokon kívül ismerünk *egyéb módon kötött tápanyagokat* is. Így pl. a P oldhatatlan vegyületek képződése és anionadszorpció révén is megkötődhet. E tápanyagokat, a fixált tápanyagokkal együtt, általában a *tartalékkészletekhez* sorolják, bár a frissen kicsapott foszforvegyületek könnyebben hasznosíthatók, mint a régebben kivált és átkristályosodott formák.

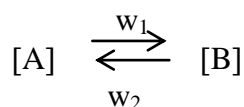
Az összes tápanyagkészlet legnagyobb részét a *tartaléktápanyagok* képezik, ezek a tápanyagutánpótlás természetes forrásai. A tartalékok elemenként változó formában és összetételben találhatók meg a talajban, ennek megfelelően eltérő módon és mértékben mobilizálhatók.

Az összes N-nek mintegy 90-95 %-a szerves kötésben van jelen, melyből a mikroszervezetek tevékenysége révén folyamatosan képződik  $NH_4^+$ -, illetve  $NO_3^-$ -ion. A N-tartalék másik része a szilikátok kristályrácsában található  $NH_4^+$ -ion formában, részaránya az agyagtartalomtól és az agyag minőségétől függ. A fixált ammóniumionok mennyisége általában az illitekben a legnagyobb, elérheti az összes N 10-15 %-át. A *foszfor*nak mintegy 50 %-a van szerves kötésben, melyből a szerves anyag ásványosodása során képződnek oldható P-vegyületek. A másik 50 % nagy része nehezen oldható P-vegyület, apatitok és különböző Ca-, Al-, Fe-foszfátok, melyek elsősorban kémiai folyamatokban alakulhatnak át. A *K-tartalékok* különböző szilikátokban találhatók és így a fizikai és kémiai mállással válnak a növények számára hasznosíthatóvá.

A felsorolt tápanyagformák együttesen képezik a talaj összes *tápanyagkészletét*, vagy *tápanyagtöbékét*.

A tápanyagok különböző formái állandó változásban, átalakulásban, s ennek következtében dinamikus egyensúlyban vannak. A dinamikus egyensúly biztosítja a talaj *tápanyagpufferoló képességét*, amin azt értjük, hogy a talajoldatban az egyes tápelemek koncentrációja bizonyos határok között állandó értéken marad, függetlenül attól, hogy a növények tápanyagot vesznek fel, illetve a trágyákkal tápanyagokat viszünk a talajba.

A talajok tápanyag-szolgáltatása a tartalékformák átalakulási sebességével jellemezhető. Ha A-val jelöljük a tápelemek mobilizálható, B-vel pedig a közvetlenül felvehető formákat, akkor az alábbi átalakulások mehetnek végbe, míg az egyensúly be nem áll:



Vagyis az átalakulás reverzibilis. A talaj tápanyag-szolgáltató képességét a  $w_1$  sebességű folyamat, a tápanyaglekötődést pedig az ellenkező irányú ( $w_2$ ) folyamat határozza meg. Egyensúlyi állapotban  $w_1 = w_2$ .

A növények ellátásának alapvető feltétele, hogy a következő egyenlőség, illetve egyenlőtlenség fennálljon:

$$[A] + [B] \geq [C]$$

ahol  $[A]$ ,  $[B]$  = a talaj tápelemtartalma kg/ha-ban, az adott talajrétegben

$[C]$  = a növény tápelem-szükséglete kg/ha-ban.

A talajban lejátszódó folyamatokra a növények tápanyag-felvétele is hatással van (17. ábra). Az ábrán a növény tápelemfelvételét a talajoldatba nyúló lopó jelképezi. A növény-talaj kapcsolat *statikus* modelljét az ábra (a) része, *dinamikus* modelljét a (b) rész szemlélteti. A statikus modell nem veszi figyelembe a növény tápelemfelvételének ütemét és a talajban lejátszódó folyamatok sebességét, a dinamikus modell erre is kiterjed.

17. ábra: A tápanyag-szolgáltatás modelljei a) statikus, b) kinetikus (Buzás, 1987)

#### Kérdések

1. Mi az egyes tápanyagformák jelentősége a növények táplálásában?
2. Mit nevezünk könnyen oldható, kicserélhető, biológiailag kötött, az agyagásványok rétegrácsai között fixált, illetve kémiaiilag kötött tápelemeknek? Jellemezze az egyes formákat!
3. Melyek a tartaléktápanyagok és miben különböznek egymástól a N-, P-, K-tartalékok?
4. Mit nevezünk tápanyagpufferoló-képességnek és hogyan jellemezhető a talajok tápanyag-szolgáltató-képessége?
5. Mi a szerepe, jelentősége a talajban végbemenő átalakulási folyamatoknak a növények táplálkozása szempontjából? Jellemezze a statikus és dinamikus modellt!



## 9.2. A talaj tápanyagkészletének változása

A talajok tápanyagkészlete állandóan változik. A *termésekkel* évről-évre jelentős mennyiségű tápanyagot vonunk el, a tápanyagok *kimosódása* és esetenként a *denitrifikáció* ugyancsak *vesztést* okozhat. E veszteségeket kell a műtrágyázással és szerves trágyákkal pótolnunk, ezért beszélünk *tápanyagutánpótlásról*. A talaj tápanyagkészletét *gazdagíthatja* még a mikroszervezetek N-kötése, a csapadékkal a talajba jutó tápanyag. A felső talajrétegek tápelemtartalmát ezen kívül a talajvízből kapillárisan felemelkedő tápelemek növelhetik.

A *terméssel elvont* tápanyagmennyiség a termés nagyságától és annak kémiai összetételétől függ. Tájékoztatásul közöljük Sarkadi adatait, melyek alapján a különböző kultúrák fő- és melléktermésével kivont N, P, K mennyiség becsülhető (22. táblázat). Pl. búzával 5 t/ha termés esetén mintegy 125 kg N, 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> és 90 kg K<sub>2</sub>O hatóanyagot vonunk el a talajból. A kapásnövényekkel, szálastakarmányokkal általában többet.

22. táblázat **Néhány fontosabb szántóföldi növény átlagos tápanyagigénye (Sarkadi, 1957)**

Növény, növénycsoport	A főtermés egysége	N kg/főtermés egység	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Őszi búza (intenzív)	1 t szem	25	10	18
Rozs	1 t szem	26	11	24
Rizs	1 t szem	22	10	20
Őszi árpa	1 t szem	27	10	26
Tavaszi árpa	1 t szem	24	10	22
Zab	1 t szem	27	10	25
Kukorica (hibrid)	1 t szem	22	9	20
Hüvelyesek	1 t szem	60*	15	40
Napraforgó	1 t szem	50	20	150
Repce	1 t szem	50	25	40
Olajlen	1 t szem	50	20	30
Mák	1 t szem	55	20	50
Cukorrépa	10 t gyökér	40	15	60
Takarmányrépa	10 t gyökér	30	10	50

**A 22. táblázat folytatása**

Növény, növénycsoport	A főtermés egysége	N kg/főtermés egység	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Burgonya	10 t gumó	60	20	90
Burgonya (intenzív)	10 t gumó	40	15	60
Rostkender	1 t kóró	15	6	18
Rostlen	1 t kóró	12	6	10
Dohány	1 t levél	45	15	80
Évelő pillangós	1 t széna	25*	7	20
Rét, legelő	1 t széna	17	6	20
Silókukorica	10 t zöld	25	10	35

Egyéb szálas takarmány	10 t zöld	15-(50)*	12	40
------------------------	-----------	----------	----	----

\* = A N-igény egy részét a N-kötő mikroorganizmusok fedezik

A tápanyagok *kimosódásának* mértéke függ a talajon átszivárgó víz mennyiségétől, a talaj tápanyagtartalmától és ennek oldhatóságától, az adszorbeált kationok kötéseiről, a mikrobiológiai folyamatok intenzitásától, a talaj kötöttségétől és egyéb tényezőktől. Ennek következtében egy-egy tápanyag kimosódási vesztesége széles határok között változhat (23. táblázat).

23. táblázat **A tápanyagok kimosódása különböző talajokon kg/ha/év (Vömel,1965/66) szerint**

Talaj	N	K	Na	Ca	Mg
Homok	12-52	7-17	9-52	110-300	17-43
Vályog	9-44	3- 8	11-45	21-176	9-61
Lösz	0-27	0-14	1-69	0-242	0-37
Agyag	5-44	3- 8	9-42	72-341	10-54

A kationok közül a *Ca* és *Mg* mosódik ki legnagyobb mértékben. A Ca-és Mg-veszteség meghaladja a terméssel kivont értéket. A Ca és Mg kimosódása az adszorbeált kationtartalommal arányos.

A *Na* viszonylag erőteljes kimosódása azzal függ össze, hogy a  $Na^+$  kisebb erővel kötődik a talajkolloidokhoz, mint a  $Ca^{2+}$  és a  $Mg^{2+}$ . A K *kimosódás* függ a K-trágyázás mértékétől és az agyagtartalomtól, kötött talajokon csekély, homokon nagyobb.

A *N* *kimosódása* elsősorban a csapadékos évszakokban következik be nitrát formában. A nitrátveszteség erősen függ a trágyázás mértékétől, a nitrifikáció ütemétől, és a talaj mechanikai összetételétől. Kötött talajokon mérsékeltebb, mint pl. homokon.

A *P vegyületek* kis oldhatósága következtében a P nem mosódik ki számottevő mennyiségben.

Lejtős területeken jelentős tápanyagveszteség léphet fel *erózió* következtében. A tápanyagban gazdag talaj, illetve az oldható tápanyagok a magasabban fekvő részekről a mélyebb részekre mosódnak le.

A denitrifikációs veszteséget és a mikroszervezetek *N-kötését* a nitrogénről szóló fejezetben tárgyaljuk. A tápanyagutánpótlás elveit is külön fejezetben ismertetjük.

A *csapadékkal* a talajba jutó tápanyagmennyiségek becslésére világszerte sok mérést végeztek, a mérések eredményei tág határok között ingadoznak. *Scheffer és Schachtschabel* adatai szerint mennyiségük az alábbi számokkal jellemezhető: Ca: 5-40, Mg: 2-6, K: 2-6, Na: 1-10, N: 4-30, P:

0,2-2, S: 12-37 kg/ha/év. Egyes elemek az iparvidékek, illetve a tengerek közelében a megadottnál nagyobb mennyiségben is előfordulhatnak a csapadéokban. A trópusokon, a csapadékkal talajba jutó N 25-60 kg/ha értéket is elérhet évente.

#### Kérdések

1. Milyen folyamatok hatnak a talajok tápanyagkészletére?
2. Milyen nagyságrendű a termésekkel kivont tápanyag mennyisége a gabonafélék, a kapás- és takarmánynövények esetében?
3. Milyen mennyiségű tápelem kimosódása lehetséges évente, hektáronként, mitől függ a tényleges veszteség?
4. Mennyi tápelem jut a talajba a csapadékkal évente, hektáronként?

### 9.3. A talajoldat összetétele, az ionok mozgása

A növények tápanyagellátása szempontjából döntő a talajoldat összetétele. Az egyes elemek ionkoncentrációi között nagyságrendi különbségek lehetnek, mennyiségüket egyrészt a talaj kémhatása, másrészt az adszorpciós komplexum kation-összetétele határozza meg. Savanyú, kilúgzott talajokon általában kisebb a tápelemek koncentrációja a talajoldatban (24. táblázat).

24. táblázat **A talajoldat tápanyag-koncentrációja mmolban**

Elem	Koncentráció-tartomány	Savanyú talajok	CaCO <sub>3</sub> -tartalmú talajok
Ca	0,5– 38	3,4	14
Mg	0,7 – 100	1,9	7
K	0,2– 10	0,7	1
Na	0,4 – 150	1,0	29
N	0,16- 55	12,1	13
P	0,001- 1	0,007	0,03
S	0,1 – 150	0,5	24
Cl	0,2 – 230	1,1	20

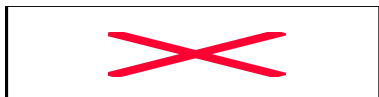
A talajoldatban feltűnően kicsi a foszfátionok koncentrációja. A kis foszfátkoncentráció csak úgy biztosíthatja a növények foszfátellátását, ha a vegetáció során a tápanyagfelvétel ütemének megfelelően állandóan újabb mennyiségek oldódnak a szilárd fázisból. A növények tápanyagellátása tehát nagymértékben függ az *oldódási folyamatok* sebességétől.

A növények tápanyagellátását nemcsak a talajoldat koncentrációja határozza meg, hanem az ionok mozgása is. A zavartalan ellátáshoz szükséges, hogy a tápelemek ionjai megfelelő ütemben jussanak a gyökér környezetébe. Az ionszállítás túlnyomórészt *anyagáramlás* (mass-flow) és *diffúzió* révén történik.

Az *anyagáramlás* jellemzője, hogy az oldott anyagok a talajoldattal együtt mozdulnak el. A transzspiráció, illetve a növények vízfelvétele következtében a gyökér környezete elszegényedik vízben, az így létrejövő szívóerő hatására a talajoldat és vele együtt a benne oldott tápionok a

gyökér irányába áramlanak. Az anyagáramlással szállított ionmennyiség a transzspiráció mértékétől, a talajok víztartalmától és a pórusok méretétől függ.

A *diffúzió* koncentrációkülönbségek kiegyenlítésére meginduló ionvándorlás. Akkor jön létre, ha az anyagáramlással odaszállított ionmennyiség nem fedezi a növény szükségletét, illetve a gyökérzet aktív gócai közelében lecsökken az egyes ionok koncentrációja, ekkor a kialakult koncentrációgradiens hatására megindul a hiányzó ion diffúziója a gyökérhez. A diffúzió megközelítőleg Fick I. törvényével írható le:



$Q$  = az  $A$  felületen  $t$  idő alatt áthaladó tápanyagmennyiség

$A$  = diffúziós felület

$D$  = diffúziós koefficiens

$c$  = koncentráció

$x$  = szállítási úthossz

A szállított ionmennyiség a  $dc/dx$  koncentrációgradienstől, illetve a diffúziós felület ( $A$ ), nagyságától függ. A felületet első közelítésben a talaj víztartalma határozza meg, de figyelembe kell vennünk azt is, hogy a diffúzió szinte csak a talajrészecskékhez lazán kötődő vízrétegekben játszódik le, az erősen kötött rétegekben alig. A diffúziós koefficiensek kisebbek a talajban, mint a tiszta sóoldatokban.

Mérések és számítások alapján igazolható, hogy a talajok nagy részénél a Ca-koncentráció olyan nagy, hogy a gabona és más kultúrák szükségletét az anyagáramlással szállított ionmennyiség fedezi. Ezzel szemben a P koncentrációja a növények szükségletéhez mérten olyan kicsi, hogy az ellátást szinte kizárólag a diffúzió biztosítja. A többi tápelemnél nagyon változó a diffúzió és anyagáramlás aránya az ionszállításban, de többnyire az anyagáramlás van túlsúlyban. Általánosságban megállapítható, hogy a gyökerekhez szállított ionok mennyiségét alapvetően a talaj víztartalma és az ionok koncentrációja határozza meg.

#### Kérdések

1. Mitől függ a talajoldat összetétele, milyen különbségek figyelhetők meg az egyes elemek mennyiségében savanyú és karbonátos talajokon?
2. Mi a különbség az anyagáramlás és diffúzió között?
3. Hogy szól a Fick-törvény és mitől függ a diffúzióval szállított ionmennyiség?
4. Mi a szerepe a diffúciónak a növények ellátásában?

#### 9.4. A talaj kémhatása

A kémhatás számszerűsítésére a pH érték alkalmas. A pH értéket általában az oldatok kémhatásának jellemzésére használják. Értéke a hidrogénion-koncentráció negatív logaritmusával egyenlő:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

A pH számértéke 0-14 között változik. A savas tartomány 0-7-ig, a lúgos 7-14-ig terjed.

A talajok kémhatását meghatározott arányú talaj/víz szuszpenzió pH értékével fejezzük ki. A szuszpenzió különböző híg sóoldatokkal (pl. KCl, CaCl<sub>2</sub>) is készíthető. Ennek megfelelően megkülönböztetünk vizes és kálium-kloridos pH értéket.

A talajok kémhatása közvetlenül és közvetve befolyásolja a növények növekedését és fejlődését. *Közvetlen* hatása a tápanyagok oldódásában és a tápanyagfelvételben érvényesül. A tápelemek oldhatóságát a pH függvényében a 18. ábra szemlélteti.

18. ábra: Tápelemek oldódása a pH függvényében (Trouw, 1948)

A növények tápanyagfelvételének a gyengén savanyú, illetve a semlegeshez közelálló kémhatás a legmegfelelőbb. A foszfátionok a savanyú talajoldatban jelenlévő vas- és alumíniumionokkal nehezen oldható vegyületeket képeznek, lúgos talajban viszont oldhatatlan kalcium-foszfátok képződnek. A lúgos kémhatás a mikrotápelemek felvétele szempontjából is kedvezőtlen, mivel a mikroelemek – a Mo kivételével – savanyú kémhatástartományban oldódnak jobban. Az erősen savanyú kémhatás viszont toxikus mennyiségű mikrotápelem oldódásához és felvételéhez vezethet.

A kémhatás *közvetett* hatásaként említhető, hogy a mikroszervezetek tevékenysége is a semlegeshez közeli pH-tartományban a legkedvezőbb. A savanyú kémhatás akadályozza a nitrifikációt. Erősen savanyú közegben csökken a talajkolloidok stabilitása és a kationadszorpciós kapacitás. Ennek következtében romlik a talaj szerkezete, levegő- és vízgazdálkodása. A H<sup>+</sup>-ionok az adszorbeált fémkationok (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) egy részét kicserélik, így ezek könnyebben kimosódhatnak.

A növények az *erősen savanyú* kémhatású talajban rosszul fejlődnek, ami részben Ca-hiánnyal, részben a toxikus hatású ionok (pl. Al<sup>3+</sup>) fokozott oldódásával magyarázható. Az Al<sup>3+</sup> ionok csak a pH=5-nél savanyúbb talajoldatban fordulnak elő nagyobb koncentrációban, mennyiségük a pH csökkenésével exponenciálisan növekszik. Az egyes növényfajok kémhatás optimuma és tűrőképessége eltérő, a termesztés pH határait a 19. ábra szemlélteti.

19. ábra: Kultúrnövények termesztésének pH-optimumai (Klapp, 1951)

A savanyú kémhatást jól tűrő növény, pl. a csillagfürt. A rozs, burgonya, zab viszonylag széles kémhatástartományban termeszthető, de pH optimumuk a savanyú tartományba esik. A búza kevésbé érzékeny a kémhatásra, a pH optima viszont a semleges és gyengén savanyú kémhatás határán van. Az árpa, a cukorrépa és a vöröshere a semlegeshez közeli tartományban fejlődik a legjobban. A lucerna, mint kifejezetten Ca-igényes növény a gyengén lúgos talajokon hozza a legjobb termést.

A talajnélküli termesztésben (hidropónia) a legtöbb növény 4,5-6,0 pH-tartományban nevelhető a legjobb eredménnyel. Ez is azt igazolja, hogy a talajban az egyes kultúrák fejlődésére nem a  $H^+$ -ion koncentráció növekedése hat kedvezőtlenül, hanem ennek *kísérő jelenségei*. A Ca-kedvelő növényeknél pedig a Ca-koncentráció szab határt a termesztésnek.

A talajok savanyúságának kialakulásában a képződési viszonyok (kilúgzás), az ipari és lakossági levegő-szennyezésből eredő savas esők és a műtrágyázás játszik szerepet. A műtrágyák közül leginkább az ammóniumsók és a karbamid savanyítják a talajt. Az ammóniumionok nitrifikációja során  $H^+$ -ionok keletkeznek, ezért is kerülni kell a szükségesnél nagyobb ammónium-műtrágya adagokat. A foszfor- és káliumműtrágyák savanyító hatása az előzőeknél kisebb mértékű. A savanyító hatás különösen a kolloidban szegény, kis *pufferkapacitású* talajokon érvényesül.

*Puffer* (kiegyenlítő) *oldatoknak* nevezzük azokat a több komponensű sóoldatokat, melyek bizonyos határokon belül kémhatás kiegyenlítésre alkalmasak. Pufferoldatok készíthetők gyenge savakból és a gyenge sav erős bázissal alkotott sójából (pl. ecetsav–nátrium-acetát), illetve gyenge bázisokból és azoknak erős savakkal képzett sójából (ammónium-hidroxid – ammónium-klorid).

A talaj *pH-pufferoló képességén* a talajok kémhatás-kiegyenlítő tulajdonságát értjük. A kémhatás-kiegyenlítő képességet a szerves és szervesetlen kolloidok, a szénsav és sói biztosítják. A humuszanyagok közül a humuszsavak és azok sói képeznek pufferrendszert.

A *pufferkapacitás* az oldatok, illetve a talaj kémhatás kiegyenlítő képességét jellemzi. A gyengén humuszos homoktalajok pufferkapacitása a legkisebb, ezért ezeken a talajokon változik meg legkönnyebben a pH külső behatásokra.

#### Kérdések

1. Miben nyilvánul meg a talaj kémhatásának közvetlen és közvetett hatása a tápanyaggazdálkodásban?
2. Milyen tényezők befolyásolják a savanyú kémhatás kialakulását?
3. Mitől függ a talajok kémhatáskiegyenlítő-képessége, mi a jelentősége?

#### 9.5. A talaj redoxipontenciálja

Az oxidációs-redukciós viszonyok jellemzésére a redoxipotenciált használják. Az oldatok redoxipotenciálját a különböző oxidációs számú (oxidált, redukált) ionok aránya határozza meg.

A talaj redoxipotenciálja – az ideális oldatokhoz hasonlóan – a talajoldatban jelenlévő ionok oxidált és redukált formáinak arányától függ. A talajban számos redoxirendszer működik, melyek a növények tápanyagfelvételét és a talajéletet is szabályozzák. A talajok redoxiviszonyait alapvetően a pórusok levegő-víz telítettsége határozza meg, a kémhatás pedig módosítja. A pórusok telítődése vízzel redukciós viszonyokat teremt.

A talajban különböző ionok redukciója jól definiált sorrendben követi egymást, redoxitulajdonságaiknak megfelelően. Legjelentősebb a denitrifikációs veszteséget okozó nitrátredukció mely elsőnek indul meg a talajban, még mielőtt az oxigén teljes mennyisége elfogy. A folyamatban elemi nitrogén ( $N_2$ ), illetve metastabil  $NO_2^-$ , NO és  $N_2O$  képződik és a levegőbe távozik.

Alig kisebb redoxipotenciálok mellett következik be a Mn(III-IV)-oxidok redukciója  $Mn^{2+}$ -ionná. A Fe(III)-oxidok redukciója  $Fe^{2+}$ -ionokká csak akkor játszódik le, amikor már sem oxigén, sem  $NO_3^-$  nincs jelen. Ezt követi a  $SO_4^{2-}$ - és  $S^{2-}$ -ionok redukciója kén-hidrogénné, továbbá a  $HCO_3^-$ -ionok átalakulása metánná, majd az egyéb anyagok redukciója. Ezek a folyamatok az egyes tápelemek felvehetőségét befolyásolják.

A különböző redoxifolyamatokra jellemző, kísérletileg meghatározott és egységesen pH 7-re számított redoxipotenciál értékeket a 25. táblázatban közöljük.

25. táblázat **Redoxi folyamatok redoxipotenciál-értékei a talajban**

Redoxireakció	Eh- (V)
A $NO_3^-$ -redukció kezdete	0,45-0,55
A $Mn^{2+}$ -képződés kezdete	0,35-0,45
$O_2$ nem mutatható ki	0,33
$NO_3^-$ nem mutatható ki	0,22
A $Fe^{2+}$ -képződés kezdete	0,14
A $SO_4^{2-}$ -redukció kezdete, $S^{2-}$ -képződés	-0,05
$SO_4^{2-}$ nem mutatható ki	-0,18

A redoxipotenciál értéke a pH emelkedésével csökken. A jól szellőző savanyú talajok redoxipotenciálja nagy, elérheti a +0,8 V értéket. A levegőtlen, semleges, illetve lúgos talajokon ezzel szemben kicsi a redoxipotenciál, még negatív érték is lehet -0,35 V-ig. A redoxiviszonyok a talajban évszakonként is változnak, a különbség elérheti a 0,1-0,8 V-ot. Legnagyobb az ingadozás azokban a talajrétegekben, melyekben a talajvíz hatása érvényesül. A humuszban gazdag

szintekben víztelítődés hatására a redoxipontenciál gyorsabban csökken, mivel itt a szervesanyag-bontó szervezetek gyorsabban felhasználják az oxigént, mint a humuszszegény talajrétegekben.

DUPress e-jegyzetek



## Kérdések

1. Mi határozza meg alapvetően a talajok redoxipotenciálját, mi a szerepe a tápanyag-gazdálkodásban?
2. Milyen sorrendben mennek végbe a redoxifolyamatok a potenciál csökkenésével?
3. Mekkora a redoxipotenciál értéke jól szellőző savanyú talajon, illetve levegőtlen semleges, vagy lúgos talajon?

### 9.6. Az ionadszorpció és szerepe a tápanyaggazdálkodásban

A talajkolloidok felülete többnyire negatív töltésű, így elsősorban kationok megkötésére képesek. Az anionadszorpció előfeltétele a pozitív töltésű kolloid. A *kationadszorpció* a tápanyaggazdálkodás szempontjából *kedvező* hatású, mivel védi a kationokat a kimosódástól, ugyanakkor a növények számára hozzáférhetőek. Az adszorbeált ionok és a talajoldat ionjai között egyensúly alakul ki. Az *anionadszorpció* többnyire *kedvezőtlen* hatású, mivel egyes anionok, pl. a foszfátionok a növények számára hozzá nem férhető formában kötődnek le (lásd 9.6.3. fejezet).

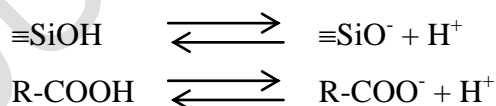
#### 9.6.1. A kolloidok töltésének kialakulása

A kationadszorpció feltétele a negatív töltésű szervetlen vagy szerves kolloidok kialakulása. Negatív töltésű felületek az alábbi folyamatokban jöhetnek létre:

- a háromrétegű agyagásványokban előforduló *izomorf helyettesítés* (Al illetve Si helyettesítése kisebb vegyértékű fémionnal),
- az agyagásványok törésfelületein elhelyezkedő  $\equiv\text{SiOH}$  és  $=\text{AlOH}$ -csoportok disszociációja,
- a huminsavak karboxil- és fenolos hidroxilcsoportjainak disszociációja.

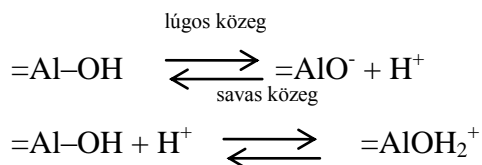
Az izomorf helyettesítés révén *állandó*, a disszociációs folyamatokban *változó* töltések jönnek létre, mivel a disszociáció pH-függő.

A  $(\text{H}^+)$ -koncentráció növekedése a talajban, viasszorítja a protonleadással járó disszociációs folyamatokat:



A csökkent disszociáció a kationadszorpciós kapacitás mérséklődését eredményezi savanyú talajokon.

Az =AlOH csoportok amfoter tulajdonságúak, gyengén lúgos vagy semleges közegben protont adnak le, savas közegben protont vesznek fel:



Az utóbbi folyamat következtében a savanyú talajokon *anionadszorpció* jöhet létre. A humusz kolloidok is amfoter jelleműek, mivel amino és karboxilcsoportot tartalmaznak.

A talajokban, kolloid állapotban jelenlévő *kovasavgél* és *fémhidroxid-gélek* is rendelkeznek adszorpciós kapacitással. Adszorpciós képességük a kolloidok öregedésével csökken.

A *kovasavgélek* csak kationokat kötnek meg. A *vas és alumínium oxid-hidroxidjai* amfoter jellegűek, vagyis az izoelektromos pont közelében nincs sem kation, sem anion megkötő képességük. Savas közegben pozitív töltésűek és anionok, elsősorban foszfátion megkötésre képesek. Lúgos közegben negatív töltés alakulhat ki, ami kationfelvételt tesz lehetővé (20. ábra). Az izoelektromos pont értéke pH=5-9 között változhat!

20. ábra: Vas-oxihidrát felületi töltésének változása a közeg kémhatásától függően

#### 9.6.2. A kationadszorpció törvényszerűségei

A negatív töltésű kolloidok vonzzák a kationokat. E vonzó hatással szemben érvényesül a Brown-féle mozgás, az ionok vizes közegben egyenletes eloszlásra törekszenek. A *kationok* kationfelhő alakjában helyezkednek el a felület közelében, a felülettől távolodva egyre kevesebb kation található, mivel a térerősség a távolság növekedtével csökken. Az *anionok* koncentrációja éppen fordítva, a felülettől távolodva növekszik.

A felületen egyensúlyi állapotban meghatározott kation/anion arány alakul ki (Gouy-Chapman eloszlás; 21. ábra). A felülettől bizonyos távolságra–mintegy 10 nm-re–a térerő már nincs hatással az ionok eloszlására (1nm = 10<sup>-9</sup> m). Itt kezdődik az úgynevezett "*külső oldat*", melyben a kationkoncentráció megegyezik az anionkoncentrációval. Ennek megfelelően az úgynevezett "*belső oldat*" a felületen elhelyezkedő réteg, melyben a kation- és anionkoncentráció nem egyforma.

21. ábra: A térerő és az ioneloszlás alakulása (Mengel és Kirkby, 1979)

*Donnan* megállapította, hogy a külső és belső oldat között egyensúly áll be. Az egyensúlyra jellemző:

- Minél nagyobb valamely kation töltése annál nagyobb mértékben halmozódik fel a belső oldatban (*vegyértékhatás*).
- A kationok felhalmozódása a belső térben annál nagyobb, minél nagyobb az indiffúzibilis anionok koncentrációja (*koncentrációhatás*).

A nagyobb töltéssel rendelkező adszorpciós felületeken (agyag-, humuszrészecskék) éppen ezért a többértékű kationok nagyobb mennyiségben kötődnek meg, mint az egyértékűek. Az agyagásványok közül a nagyobb adszorpciós kapacitású *montmorillonit* a *kaolinit*hoz mérten viszonylag több kalciumot adszorbeál, mint káliumot:

Agyagásványok	Ca/K arány
Kaolinit	5,0
Illit	8,1
Montmorillonit	22,1
Növekvő adszorpciós kapacitás	

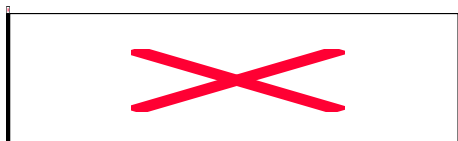
A Ca a K-hoz képest nagyobb mértékben adszorbeálódik híg oldatban, mint tömény oldatban (hígulási effektus). Éppen ezért ha a talajoldat esőzés, vagy hóolvadás következtében felhígul, a két- és többértékű kationok nagyobb mértékben adszorbeálódnak, mint az egyértékűek. A talajoldat koncentrációjának növekedése (pl. párolgás révén) ellenkező hatású. A többértékű kationok ez esetben, kisebb mértékben adszorbeálódnak. A kationarányok változását a talajnedvesség függvényében a 22. ábra szemlélteti. Az említett változások tavasszal a Ca-, Mg-, nyáron pedig a K-koncentráció csökkenését okozhatja a talajoldatban.

22. ábra: Az egy- és kétértékű adszorbeált kationok arányának változása a talajnedvesség függvényében (Wiklander, 1958)

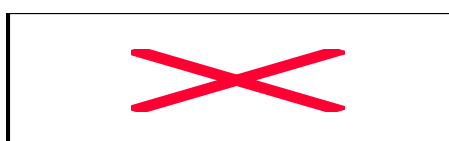
A Donnan-eloszlás előfeltétele, hogy a belső oldat indiffúzibilis ionjai *egyenletes eloszlásúak* és így az elektromos erőter *homogén* legyen. A Donnan-eloszlás feltételei a talajban nem mindig biztosítottak. Ilyen körülmények között a *Gapon egyenlet* írja le jobban az adszorbeált és az egyensúlyi oldatban szabadon lévő ionok mennyiségi kapcsolatát.

Egy- és kétértékű ionokra:

általánosságban:



a  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ -ionok esetében:



ahol  $(Me^+)_{adsz}$ ,  $(Me^{2+})_{adsz}$  = adszorbeált kationmennyiség (mg ekv./100 g)

$(Me^+), (Me^{2+})$  = kationkoncentráció az egyensúlyi oldatban (mmol/l)

$k$  = *Gapon együttható*

A *Gapon együttható* ( $k$ ) nem konstans, számértéke a kationok töltéssűrűségétől és esetenként a specifikus kötődési lehetőségektől függ. Pl. rétegrácsok felületén, a törésfelületeken, vagy a rétegek között. Ezért szelektivitási együtthatónak is nevezik. (Lásd K-megkötés.)

### 9.6.3. Anionadszorpció

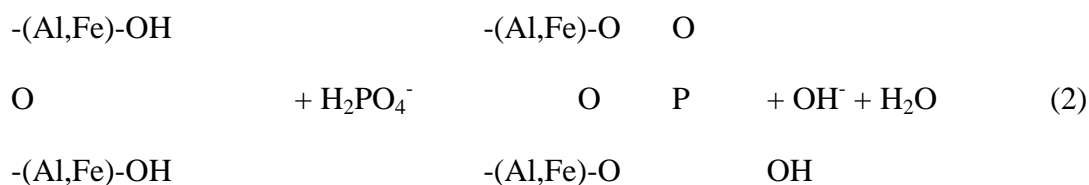
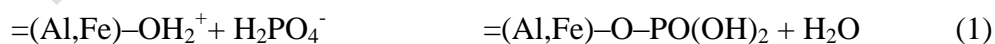
Az anionok adszorpciója elsősorban a savanyú talajokra jellemző. Megkülönböztetünk nem specifikus és specifikus anionadszorpciót.

A *nem specifikus* adszorpció gyenge elektrosztatikus kötődés a talaj felületén. Előfeltétele a pozitív töltés kialakulása a talajkolloidokon. Savanyú közegben az agyagásványok törésfelületein és különösen a Fe- és Al-oxid-hidroxidokon a Me-OH csoportokhoz protonok kapcsolódnak, így jön létre a pozitív töltés. Az anionok elektrosztatikus megkötése, hasonló a kationadszorpcióhoz, bármely anion kötődhet a pozitív töltésű felülethez és onnan kicserélhető. A nem specifikus anionadszorpciót a koncentrációviszonyok határozzák meg. Ezzel a laza kötődéssel kapcsolódnak a klorid-, nitrát- és szulfácionok.

A *specifikus anionadszorpció (kemisorpció)* ligandumcserével valósul meg. Az anionok specifikus adszorpciója jelentős, de kedvezőtlen hatású folyamat mivel a Coulomb erőknél nagyobb kötési energiával kapcsolódnak a felülethez.

Egyes anionoknak nagyobb az affinitása az oxidok és agyagásványok Al és Fe atomjaihoz. Így pl. a *foszfát-, molibdenát-, szilikát- és arzenácionok* erősen, a borát- és szulfácionok pedig kisebb mértékben kötődnek a kolloidokhoz. A klorid- és nitrácionok nem kötődnek specifikusan.

Különösen erős a foszfácionok kötődése. Feltételezzük, hogy a foszfácionok a Fe- és Al- oxid-hidroxidok koordinációs szférájába képesek beépülni OH-, illetve OH<sub>2</sub>-ligandumok kiszorításával. Ennek következtében egy vagy több Fe, illetve Al atomhoz is kötődhetnek az (1) és (2) reakcióegyenlet szerint:



Az anionadszorpció függését a pH-tól és az agyagminőségtől a 23. ábrán szemléltetjük. Látható, hogy a foszfátionok mennyivel nagyobb mértékben kötődnek, mint a szulfát- és kloridionok továbbá, hogy a foszfátionok még a semleges pH-tartományban is jelentős mennyiségben lekötődnek. A kaolinitos agyagfrakció nagyobb mennyiségű foszfátionot köt meg, mint a szemektites.

23. ábra: Anionadszorpció és a pH kapcsolata (Scheffer, Schachtschabel, 1979)

Az anionadszorpció mértéke talajonként változó, általánosságban a következő sorrend adható meg:

foszfát > arzenát > szilikát > molibdenát > > szulfát > klorid = nitrát

A talajoldatban az anionok kémiai csapadékképződéssel is lekötődhetnek, ha egyidejűleg olyan kationok vannak jelen, melyek velük oldhatatlan csapadékot képeznek. Így pl. a foszfátionok savanyú közegben  $\text{Fe}^{3+}$ - és  $\text{Al}^{3+}$ -ionokkal vas- illetve alumínium-foszfátokat, lúgos közegben  $\text{Ca}^{2+}$ -ionokkal kalcium-foszfátokat képezhetnek.

Kérdések

1. Melyek az ionadszorpció előfeltételei, hogyan jönnek létre a negatív, illetve pozitív töltésfelületek a talajban?
2. Mi jellemzi a Gouy-Chapman eloszlást, mi határozza meg a külső és belső oldat határát?
3. Mi jellemzi a Donnan egyensúlyt, mit értünk vegyértékhatás, illetve koncentrációhatás alatt?
4. Mit eredményez a talajoldat hígulása, illetve töményedése az adszorbeált kationok arányaiban?
5. Hogyan írja le a Gapon egyenlet az adszorbeált és az egyensúlyi talajoldatban jelenlévő ionok kapcsolatát; mit kell tudni a Gapon együtthatóról?
6. Mi jellemzi a nem specifikus anionadszorpciót, milyen ionok kötődnek nem specifikusan?
7. Hogy jön létre a specifikus anionadszorpció, milyen a kötés erőssége és melyek azok az ionok, melyek ezzel a kötéssel kötődnek a talajkolloidok felületéhez?
8. Milyen feltételek között jön létre a kemisorpció és miben különbözik az anionadszorpciótól?

## II. TÁPELEMEK A TALAJBAN, A NÖVÉNYBEN

### 1. A nitrogén

A nitrogén az aminosavak, fehérjék, nukleinsavak és nukleotidok, valamint a klorofill alkotórésze. Ebből következik, hogy az élet hordozójának, a protoplazmának és a genetikai információkat tároló és átadó sejtelemeknek, a kromoszómáknak, géneknek és riboszómáknak is fontos alkotó eleme. Az életműködést szabályozó enzimek alkotórészeként, nélkülözhetetlen az anyagcsere-folyamatokban. Előfordulhat még egyes, növényfajonként specifikus, vegyületekben, pl. az alkaloidokban.

#### 1.1. Nitrogén a talajban

A termés mennyiségét legnagyobb mértékben a N-ellátás határozza meg, ezért a talajok N-tartalma a termékenységük fontos tényezője. Ásványi talajokon az *összes N-tartalom* 0,02-0,4 % között ingadozik. A művelt rétegben az összes N-nek több mint 95 %-a szerves kötésben van jelen és mennyisége a humusztartalommal arányos. A növények csak a szervesetlen formákat tudják hasznosítani  $\text{NO}_3^-$  és  $\text{NH}_4^+$ -ionként. Az  $\text{NH}_4^+$  kisebb része könnyen kicserélhető formában a talajkolloidokon adszorbeálva, nagyobb része pedig a háromrétegű agyagásványok rétegrácsai között fixált állapotban található.

A növények N-ellátásában a légkör képezi a tartalékforrást. A levegő nitrogénjét a növények nem tudják közvetlenül hasznosítani, csak a mikroszervezetek közreműködésével válik hozzáférhetővé. A műtrágyák gyártásához is a levegő nitrogénjét használjuk. Ennek következtében a N a természetben állandó körforgásban van.

A *nitrogén körforgalom* (24. ábra) egyes folyamatai a talajt N-ben gazdagítják, míg más folyamatokban a talajt N-vesztesség éri. A *talajt gazdagító folyamatok*: műtrágyázás, szerves trágyázás és a mikroszervezetek N-kötése. A *vesztességforrások*: a növények N felvétele; a denitrifikáció; a N-kimosódás. A talaj szerves N-vegyületei az ammonifikáció és nitrifikáció során alakulnak át hasznosítható N-formákká.

##### 1.1.1. Biológiai N-kötés

A levegő nitrogénjét a *szabadon élő* és *szimbiózisban* élő mikroszervezetek képesek megkötni. A *szabadon élő aerob* mikroszervezetekhez tartoznak az *Azotobacter chroococcum* és az *Azotomonas insolita*. Jól levegőzőtt, gyengén savanyú vagy semleges kémhatású talaj kedvező életfeltételeket biztosít számukra. Életműködésükhöz könnyen bontható szerves szénforrásokra, pl. szénhidrátokra, illetve egyszerű cukrokra van szükségük, ezért elsősorban szénhidrátbontó szervezetek (pl. cellulózbontók) jelenlétében fejtik ki hatásukat.

## 24. ábra: A nitrogén körforgalma

Szabadon élő *anaerob* szervezetek a különböző *Clostridium* fajok, melyek savanyú erdőtalajokban fordulnak elő.

A szabadon élő N-kötő szervezetek szerepét nem szabad túlbecsülni. A kötött N mennyisége a körülményektől függően változhat, különböző mérések és becslések szerint 2-40 kg/ha lehet a szabadon élő szervezetek által évente megkötött N.

A növények N-ellátásában igen fontos szerepet játszanak a *pillangós növényekkel szimbiózisban élő* N-kötő szervezetek. Ezek különböző *Rhizobium leguminosarum* (*Bacterium radicola*) fajok, melyek a pillangósok gyökerén a baktériumok hatására képződő gümőkben élnek (gyökérgümőbaktériumok). A *Rhizobium* fajok N-kötése jelentős. Évente mintegy 100-200 kg/ha között ingadozhat az általuk megkötött N-mennyiség. Az említett szimbiózis abban áll, hogy a szénautotróf gazdanövény a szénheterotróf baktériumokat szénhidrátokkal látja el, míg a baktériumok a gazdanövénynek szerves N-vegyületeket (aminosavakat, amidokat) juttatnak.

Az egyes *Rhizobium* fajok csak meghatározott pillangósokkal élnek szimbiózisban. Így pl a vöröshere gümőbaktériumai nem idézhetnek elő gümőképződést más pillangósoknál. Vagy a borsó gümőbaktériumai hatástalanok a hereféléknél és lucernánál.

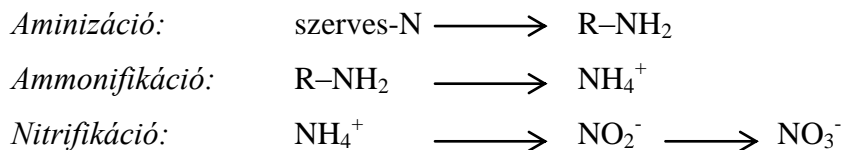
A *Rhizobium*ok N-kötése messzemenően alkalmazkodik a gazdanövény életritmusához. A növény növekedésével egyre több nitrogént kötnek meg.

A fejlődés kezdeti szakaszában a pillangós virágú növényfajoknak is szükségük van a talaj N-készletére, emiatt esetenként kiadagú N-trágyázás is javasolható. A kisadagú "start"-nitrogén elősegíti a növények fejlődését és a gümőbaktériumok életműködését. Kerülni kell a nagyadagokat, mivel kimutatták, hogy a karbamid,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , és  $\text{NH}_4^+$  ionok nagy koncentrációban gátolják a N-kötést, blokkolják a nitrogenáz szintézist. A gümőbaktériumok érzékenyek a talaj kémhatására, az erősen savanyú kémhatást nem kedvelik. Legkedvezőbb a N-kötés a semleges kémhatás tartományban. A gümőképződésre kedvezően hat a pótlólagos Ca-ellátás.

A N-kötésben a legfontosabb szerepet a *nitrogenáz* enzim játsza, mely két fehérjéből áll, az egyik vasat és molibdént, a másik csak vasat tartalmaz. A *Rhizobium*ok Mo szükséglete viszonylag nagy. Nem a magasabb rendű növény, hanem a vele szimbiózisban lévő gümőbaktériumok használják fel nagy mennyiségben a Mo-t. A szimbiotikus N-kötésben a Co is fontos szerepet játszik. Kísérletileg igazolták, hogy a Co-ellátás fokozza a  $\text{B}_{12}$ -tartalmat a gümőkben.

### 1.1.2. A szerves N-vegyületek átalakítása

A talaj, illetve a szerves trágyák N-vegyületeit, a mikroszervezetek alakítják át szervesetlen ionokká. Az átalakulás részfolyamatai:



Az egyes folyamatokban más-más szervesanyag-bontó, illetve átalakító mikroszervezetek vesznek részt. Az átalakítási folyamatok elsősorban a szerves trágyákkal és gyökérmaradványokkal frissen a talajba került szerves anyagokat érintik, és csak kisebb mértékben a humuszanyagokat.

Az *ammonifikáció* során az ammonifikáló baktériumok hatására az amino-N ammóniává alakul át. Az ammonifikálás csak megfelelő talajnedvesség jelenlétében játszódik le. Az  $\text{NH}_3^-$ , illetve az  $\text{NH}_4^+$ -ion rosszul szellőző talajokon kis pH értékek mellett felhalmozódhat (pl. láptalajokban, vagy rizsföldeken). Jó szerkezetű, levegős talajokon, gyengén savanyú, illetve semleges kémhatás esetén az ammónia a *nitrifikáció* során előbb nitritté, majd nitráttá alakul (oxidáció).

A nitrifikáció kedvező feltételek között viszonylag gyorsan játszódik le. Előfeltétele a talaj megfelelő nedvességtartalma, hőmérséklete és szellőzöttsége. Általában tavasszal és ősszel legnagyobb a nitrátképződés, a nyári hónapokban, és télen kisebb mérvű. A növények N-ellátása szempontjából elsősorban a nyári szárazság lehet kedvezőtlen hatású.

Az  $\text{NH}_4^+$ -ionok nitrifikációját  $\text{H}^+$ -ion képződés kíséri. A műtrágyával a talajba juttatott ammónium-nitrogén is nitrifikálódik. Ezért az ammóniumsók és a karbamid használatánál is savanyító hatás lép fel.

A szerves anyagok lebomlását és a szerves N-vegyületek átalakulását szervesetlen formákká *mineralizációnak* (ásványosodásnak) nevezzük. A mineralizáció során a N *mobilizálódik*, a növények számára hasznosíthatóvá válik. E folyamat fordítottja a N *immobilizációja*, melyben a szervesetlen ionokat a mikroszervezetek megkötik. A mineralizáció révén mobilizálódó N mennyisége a körülményektől függően változik, éves szinten elérheti a szerves N-tartalom 1-2 %-át.

A N mobilizáció, illetve immobilizáció függ a szerves anyag C/N arányától. A szűk C/N arányú, N-ben gazdag pillangós gyökérmaradványok (C/N=15-25) gyorsabban lebomlanak, mint a N-ben szegényebb, tág C/N arányú gyökérmaradványok. Ennek alapján megkülönböztetünk *jó és rossz előveteményeket*.



Kedvezőtlen helyzetet teremthet a szalma vagy kukoricaszár alászántása ( $C/N=50-100$ ). Ekkor ugyanis elszaporodnak a cellulózbontó szervezetek, melyek testük felépítéséhez sok nitrogént használnak fel és így elvonják a nitrogént a kultúrnövényektől. A jelenség *pentozánhatás* néven ismert és a szerves anyag bemunkálásával egyidejűleg adott N-műtrágyával küszöbölhető ki. A N immobilizációja általában  $C/N$  30 értéknél következik be. Ezért nem használható fel közvetlenül a tág  $C/N$  arányú friss istállótrágya.

### 1.1.3. Veszteségforrások

A nitrifikációban képződött nitrit és nitrát levegőtlen viszonyok között redukcióval visszaalakulhat ammóniává, illetve molekuláris nitrogénné. Ezt a folyamatot *denitrifikációnak* nevezzük. A denitrifikáció fokozódik a talaj nedvességtartalmának növekedésével, illetve az oxigénhiány arányában; függ a  $NO_3-N$ -tartalomtól és a könnyen bontható szerves anyagok mennyiségétől is. A denitrifikációs veszteség, még jól szellőző talajokon is elérheti a felhasznált műtrágyaadagok 15 %-át, tömör, összeiszapoltódott, nagy nedvességtartalmú talajokon a 30 %-ot is meghaladhatja. Kötött talajokon általában nagyobb, mint laza talajon.

Lúgos talajon *ammóniagáz távozása* folytán is bekövetkezhet N-veszteség, mivel itt ammónium-sókból ammónia válik szabaddá. Ennek azonban csak kis része vész el, mivel az ammóniagáz a talajoldatban ammóniumionokká alakul át és az ammóniumionok a talajkolloidokon is adszorbeálódhatnak. Ammóniaveszteség léphet fel nagy karbamidadagok alkalmazásakor is, amikor hirtelen nagymennyiségű ammónia válik szabaddá a karbamid bomlása során.

Kedvezőtlen hatású még az *ammóniumionok irreverzibilis megkötődése* a 2:1 típusú agyagásványokon, a K fixálásához hasonlóan. A fixált  $NH_4-N$  mennyisége növekszik az agyagtartalom, illetve a háromrétegű agyagásványok arányában, elérheti az összes N 10-15 %-át is. Az  $NH_4^+$ -ion még nagyobb mértékben fixálódhat, mint a  $K^+$ -ion.

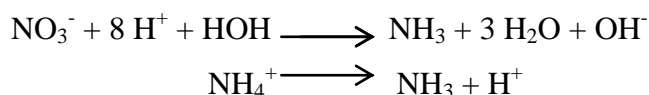
Veszteség léphet fel  $NO_3-N$  *kimosódása* révén is. A veszteség függ a nitrifikáció ütemétől, a trágyázás mértékétől és a talaj kötöttségétől. Homokon elérheti az 50 kg/ha értéket, kötöttebb talajokon kevesebb, mintegy 20-25 kg/ha/év. A N kimosódása elsősorban a csapadékos évszakokban lép fel, általában a téli csapadékkal mosódik ki a legtöbb N. Ezért kell az őszi N-trágyázást minimálisra szorítani, ha lehet elkerülni.

Az ismertetett folyamatok következtében a talaj oldható N-tartalma nagymértékben ingadozik az egész év során és ezen belül a vegetációs időszakban, amihez a növények tápanyagfelvétele is hozzájárul.

## 1.2. A nitrogén felvétele és szerepe

A növény elsősorban nitrát- és ammóniumion formájában gyökéren keresztül veszi fel a N-t. Levélen keresztül karbamid felvételére is képes. A szerves formában felvett N rendszerint gyorsan átalakul szerves N-vegyületekké. A N-vegyületek mozgása a növényben zavartalan, éppen ezért a N-hiány elsősorban idősebb leveleken tapasztalható, mivel ezekből hiányos N-ellátás esetén a N átvándorol a fiatalabb zöld részekbe. A N mindig az élettanilag aktív gócbba vándorol elsősorban, nem pedig a kis N-tartalmú részekbe.

A  $\text{NO}_3^-$ -ionok a nitrátredukció folyamatában–nitriten keresztül–ammóniává alakulnak és így épülnek be. Az  $\text{NH}_4^+$ -ionok közvetlenül hasznosulnak. A nitrát- és ammóniumion táplálás más-más hatást vált ki a *sejtben*. A nitrátion felvétele pH emelkedést von maga után, míg az ammóniumfelvétel pH csökkenést okoz, az alábbi reakciók következtében:



A növényi sejtben lejátszódó pH változás a *tápközeg* (talajoldat) kémhatására is kihat. Nitrát táplálás esetén nagyobb mennyiségű  $\text{OH}^-$ , illetve  $\text{HCO}_3^-$ -ion, ammóniumtáplálás esetén nagyobb mennyiségű  $\text{H}^+$  jut a tápközegbe. A nitráttáplálás tehát pH növekedést, az ammóniumtáplálás pH csökkenést eredményez a tápközegben. E folyamatokon alapszik a műtrágyák fiziológiai kémhatása.

Az ammóniumionok felvétele nagyobb mértékben függ a tápközeg kémhatásától, mint a nitrátionok felvétele. Savanyú közegben a növény több nitrátot vesz fel, mint ammóniumiont. *Prjanyisnyikov* szerint az ammónium- és nitráttáplálás csak a semleges pont közelében egyenértékű.

*Pirschle* 21 növényfajnál vizsgálta az ammónium és nitrát felvételét. A kísérletek eredménye szerint az ammónium-N 5,5-6,5 pH tartományban a nitrátion hatásával egyenértékű. A nitrátfelvétel optimuma 4,5-7,0 pH-érték közé esik. A két N-forma között tehát az alapvető különbség, hogy a nitrát lényegesen szélesebb pH intervallumban biztosítja a növények N-ellátását, mint az ammónium-N.

A *N-trágyázás* hatása a szárazanyagprodukcióna régóta ismert. A N mint az aminosavak építőköve nélkülözhetetlen a fehérjék illetve a plazma felépítésében. A jó N-ellátás kedvezően befolyásolja a növények növekedését, a hiányos pedig gátolja. A termés nagysága legnagyobb mértékben N-trágyázással növelhető, hatással van a termékek minőségére. Táplálkozáselettani szempontból figyelemre méltó a gabonafélék, takarmányok fehérjetartalmának növelése a N-trágyázással.

### 1.3. A nitrogénhiány és -felesleg hatása

A *nitrogénhiány* csökkent növekedéssel és fehérjeképződéssel jár együtt. A növények vegetatív fejlődése lerövidül, meggyorsul a reproductív fejlődési szakasz. Gabonaféléknél és más növényeknél is csökken a fehérjetartalom, a keményítő, a cukor és néhány más szénhidrát mennyisége növekszik. A magvak korábban érnek, de aprók, így kisebb lesz a szemtermés.

A nitrogénhiány látható *hiánytünetek* formájában is észlelhető: a levelek fakó, világossárga színűek, esetenként vöröses színárnyalat is megfigyelhető. Az elszíneződés az idősebb leveleken kezdődik, amelyeket a növény gyakran idő előtt lehullat. A gabona N-hiánya elsősorban a fejlődés korai szakaszában (bokrosodási fázisban) világoszöld színnel jelentkezik. A bokrosodás ilyen esetben kisebb mértékű, az állomány ennek következtében hiányos.

A *bőséges N-táplálás* ezzel szemben sötétzöld, üde növényzetet eredményez, a növények lédúsak és széles levelűek. A sötétzöld szín a kloroplasztizok fokozott szintézisének a következménye. A N-hiányos növények fakó, világoszöld színe a csökkent kloroplasztiz képződésre vezethető vissza.

A nitrogén *túladagolás* fokozott vegetatív fejlődést, kései érést idéz elő gabonáknál, dőlési veszélyt okoz. A nagy N-adagok egyes kultúráknál kedvezőtlenül hatnak a termék minőségére.

#### Kérdések

1. Melyek a talajt gazdagító folyamatok, illetve a veszteségforrások a N-körforgalomban?
2. Milyen mennyiségű N-t kötnek meg a talajban a szabadon élő, illetve szimbiozisban élő szervezetek évente és hektáronként?
3. Mi jellemzi a Rhizobium fajok N-kötését, mi a nitrogenáz enzim szerepe, miért van szükség az úgynevezett start N-re?
4. Milyen részfolyamatokban alakulnak át a szerves N-vegyületek szerves ionokká?
5. Milyen feltételek között játszódik le a szerves anyag bontása, az ammonifikáció, a nitrifikáció és mi a jelentősége a növények táplálásában?
6. Mikor jön létre N-immobilizáció, illetve hogyan kerülhető el?
7. Milyen feltételek között jön létre a denitrifikáció, az ammóniaveszteség, az ammóniumionok fixálódása, illetve a nitrátionok kimosódása; milyen nagyságrendűek a veszteségek?
8. Milyen formákban veszi fel a növény a N-t, mi a különbség a nitrát- és ammóniumionok felvételében?
9. Milyen hatású a nitrát-, illetve az ammóniumtáplálás a sejttállomány, illetve a tápközeg kémhatására?
10. Melyek a N-trágyázás hatásai, milyen következményekkel jár a N-hiány, illetve -felesleg?

### 2. A foszfor

A foszfor létfontosságú sejtalkotórészek, a nukleoproteinek és a foszfolipidek építő eleme. A lecitin pl. nélkülözhetetlen alkotója a különböző sejtmembránoknak. A DNS és RNS alkotó elemeként résztvesz az életfolyamatok szabályozásában. Az ATP, ADP és koenzimek alkotórészeként a foszforilálási folyamatokban és a növények energiaháztartásában fejt ki hatását. A foszfor szinte

minden élettanilag jelentős folyamatban, így a fotoszintézisben, a glikolízisben, a citromsavciklusban, a szénhidrátszintézisben résztvesz, s ennek következtében nélkülözhetetlen. A P a növényekben ortofoszfát, vagy pirofoszfát kötésben van jelen.

### 2.1. Foszfor a talajban

A talajok összes P-tartalma 0,02-0,10 % (1 % P = 2,29 %  $P_2O_5$ ). Az összes P-tartalomnak csak igen kis része hasznosítható közvetlenül. A P a talajban szerves és szervetlen kötésben fordul elő. A két frakció aránya változó, többnyire 50-50 %.

A *szerves kötésű foszfor* legnagyobb része (60 %) fitin, inozit-hexafoszfát. A nukleinsavak, foszfolipidek, foszfoproteidek és cukorfoszfátok részaránya viszonylag kicsi (5- 10 %). A szerves P-tartalom, mintegy 30 %-a nem pontosan ismert formában huminsavakhoz, fulvosavakhoz kötve van jelen. A szervesanyag-tartalom és foszfortartalom között nincs szoros összefüggés. A C/P arány termékeny, jó humusz minőségű talajokon 100. Nagy szervesanyag-tartalmú talajokon a C/P 1000 is lehet. A 150 feletti értékek kedvezőtlenek. A szerves P-tartalom mineralizációjának üteme lassú.

A *szervetlen P-tartalom* részben natív eredetű (apatitok), részben pedig az apatitok mállástermékeiből és műtrágyákból kialakult új képződményekből áll. Utóbbiak általában az agyagfrakcióban találhatók nagyobb mennyiségben, mivel oda kötődnek.

A talajképződés során keletkezett eredeti P-tartalmat a nehezen oldható hidroxipapatit és még nehezebben oldható fluorapatit izomorf elegykristályai képezik, melyek csak igen lassú fizikai-kémiai mállásfolyamatokban alakulnak át.

$Ca_5(PO_4)_3OH$	hidroxipapatit
$Ca_5(PO_4)_3F$	fluorapatit

A műtrágyákkal talajba juttatott *vízoldható* monokalciumfoszfát ( $Ca/H_2PO_4/2$ ) és a *citrátoldható* dikalcium-foszfát ( $CaHPO_4$ ) viszonylag gyorsan alakul át nehezebben oldható foszfátokká. Meszes talajokban Ca-foszfátok, savanyú talajokban Fe-, Al-foszfátok képződhetnek.

#### Átalakulási termékek a talajban

$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$	dikalcium-foszfát-dihidrát
$CaHPO_4$	dikalcium-foszfát
$AlPO_4 \cdot 2H_2O$	variszcit
$FePO_4 \cdot 2H_2O$	strengit
$Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$	vivianit (anaerob viszonyok között)

A *frissen kicsapott* vegyületek kis oldhatóságuk ellenére is könnyebben hozzáférhetők a növények számára, mint a primer ásványi képződmények, mivel rendkívül finom eloszlásban fordulnak elő a talajban. A kicsapott vegyületek hasznosíthatósága a keletkezett vegyületek átkristályosodása révén egyre csökken.

A különböző foszfátok oldhatóságát a pH függvényében a 25. ábrán mutatjuk be. Az ábrából kitűnik, hogy növekvő pH hatására a Ca-foszfátok oldhatósága csökken, a Fe-, Al-foszfátok oldhatósága pedig növekszik. A strengit, variszcit és Ca-foszfátok oldhatósági görbéinek metszéspontjában a Fe-, Al- illetve a Ca-foszfátok egyensúlyban vannak. A dikalciumfoszfát viszonylag széles pH-intervallumban oldható. A kalcium-foszfátok oldhatósága azonos pH mellett a következő sorrendben nő:

fluorapatit < hidroxipatit < oktakalcium-foszfát < dikalcium-foszfát

Savanyú talajokon jelentős foszformennyiség kötődhet meg *anionadszorpció* révén elsősorban Fe- és Al-oxidhidrátokon és az agyagásványok felületén.

A foszforvegyületek oldhatóságát figyelembe véve, a foszfor felvételére legkedvezőbb a pH=5,5-7,0 kémhatástartomány, mivel a kedvezőtlen leköttődési, illetve átalakulási folyamatok elsősorban e pH-érték alatt, illetve felett játszódnak le. A foszfátionok koncentrációja a talajoldatban rendkívül kicsi, ezért a növények ellátásában a diffúziónak meghatározó a szerepe.

25. ábra: Foszfátok oldhatósága a pH függvényében (Lindsay és Moreno, 1960)

A talaj szerves P-vegyületeiből a mikroszervezetek foszfátionokat szabadítanak fel. A mikroszervezetek a nehezen oldható szerves foszfátok oldódásában is részt vesznek. *Az oldást a biológiai úton termelt  $H^+$ -ionok biztosítják.* A különböző mikroszervezetek szerves savakat, így hangyasavat, ecetsavat, propionsavat, tejsavat, oxálsavat és citromsavat termelnek, s ezek oldó hatása érvényesül. Általánosságban megállapítható, hogy az élénk mikrobiológiai élet a talajban kedvezően befolyásolja a növények P-ellátását.

A növény maga is képes  $H^+$ -ionok termelésére. A gyökereken keresztül a talajoldatba jutott  $H^+$ -ionok oldó hatást fejtenek ki a gyökerek közelében jelenlévő, nehezen oldható foszfátokra. Az egyes növényfajok foszfátfeltáró-képessége eltérő. Az eltérés részben a gyökérzet térbeli kiterjedésével, részben a termelt  $H^+$ -ionok mennyiségével magyarázható. Így pl. a pillangós növények nagy gyökérhálózatuk következtében több P-t képesek felvenni, mint a gabonafélék. A növények foszfátfelvételét a talaj nedvességtartalma is befolyásolja. Száraz években kisebb a foszfátfelvétel.

A szerves trágyázás elősegíti a növények foszfátfelvételét. A *humát-effektus* néven ismert jelenség lényege, hogy a szerves anyag bomlása során kelátképzők keletkeznek, melyek a talajoldatban jelenlévő Ca-ionok egy részével kelátokat képeznek és így megakadályozzák a nehezen oldható Ca-foszfátok képződését. A szerves anyag a mikroorganizmusok tevékenységét is serkenti.

## 2.2. A foszfor felvétele, eloszlása és szerepe

A növény  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (dihidrogén-foszfát)- és  $\text{HPO}_4^{2-}$  (hidrogén-foszfát)-ionokat vesz fel. Szerves vegyületekből pl. fitinből és nukleinsavakból enzimek segítségével képes foszfátionokat lehasítani és felvenni. Ez a folyamat a gyökérfelületen játszódik le, a felvétel lassúbb, mint a szerves ionok felvétele.

A foszforsav disszociációját a talajban a pH viszonyok határozzák meg. Ennek megfelelően a savanyú talajokban a  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ -ionok, lúgos talajban a  $\text{HPO}_4^{2-}$ -ionok fordulnak elő nagyobb mennyiségben (26. ábra).

A P- és Mg-felvétel egymással szoros kapcsolatban áll. Bármelyik elem hiánya a másik elem csökkent felvételét eredményezheti.

26. ábra: A foszforsav disszociációja, a pH függvényében (Mengel, Kirkby, 1987)

Megfelelő viszonyok között a gyökérzet a talajoldatból gyorsan felveszi a foszfátionokat. A szerves foszfátok a gyökérben többnyire foszfonukleotidokká alakulnak (ATP, ADP). A P jó mozgékonyaságát az biztosítja, hogy a növény túlnyomórészt szerves vegyületek formájában szállítja.

A P eloszlása a növényben nagymértékben függ a növény fejlettségi állapotától. A P elsősorban a generatív szervekben halmozódik fel.

A P a növényben különböző szerves és szervesetlen vegyületek formájában található. A szerves vegyületek közül a *foszfolipidek* a sejtmembránok felépítésében vesznek részt. A *nukleinsavak* (RNS, DNS) a fehérje szintézisben játszanak fontos szerepet. A P, mint az *ATP*, *ADP* és *koenzimek* alkotórésze, a különböző foszforilálási folyamatokban nélkülözhetetlen. A P résztvesz szinte minden élettanilag fontos folyamatban, így a fotoszintézisben, a glikolízisben, citromsav-ciklusban, szénhidrát-szintézisben stb.

A P hiánya kedvezőtlenül befolyásolja a citromsavciklust, gátolja a fehérjeszintézist, s ez a nem fehérje jellegű nitrogén-vegyületek feldúsulásához vezet. Visszaszorul a keményítő és cellulóz szintézis, ennek következménye az egyszerű cukrok mennyiségének növekedése és az antociánképződés. Erős foszforhiány esetén az egyszerű cukrok szintézise is csökken. A P-hiány

tehát károsan hat a minőségre is. Hiány esetén a növények az életfolyamatok fenntartásához szükséges foszfort az idősebb szervekből tudják mobilizálni, de a növekedés gátolt.

A *gabonaszem* P-tartalmának kb. 80 %-a *fitin*, (inozithexafoszforsav) míg a zöld növényi részekben a fitin részaránya csak mintegy 2 %-a az összes P-tartalomnak. A magban és termésekben található fitin P-tartalékot képez. A gabonaszemben Ca- és Mg-sója található. A mag tehát a fiatal csíranövény foszforilálási folyamataihoz szükséges Mg- és foszfátionokat is tartalmazza. A P és Mg a többi tápelemtől eltérően, a szemben nagyobb mennyiségben halmozódik, mint a szalmában (26. táblázat).

26. táblázat **Az érett zab ásványianyag-tartalma a szemben és szalmában (mg/g szárazanyag) (Scharrer és Mengel, 1960)**

Elem	Szem	Szalma
P	4,29	1,23
Mg	1,23	1,02
Ca	2,23	9,0
K	6,40	13,8
Na	0,22	3,24
Cl	2,66	14,2

A fitin nagyobb része az érés időszakában szintetizálódik. A *csírázás* folyamán pedig a fitin foszfortartalma egyre csökken, vagyis szerves formákká alakul át, mobilizálódik. A különböző foszfátfrakciók mennyiségi változását a kukoricaszem érése során a 27. ábra mutatja be.

A *vegetatív* szervekben általában a szerves foszfátfrakció teszi ki az összes P-tartalom nagyobb részét. Részaránya az idősebb levelekben a legnagyobb, míg a fiatal levelekben viszonylag több a szerves foszfát (pl. nukleoprotein). A foszfortrágyázás szinte kizárólag a szerves foszfátfrakciót növeli.

27. ábra: A kukoricaszem P-vegyületeinek alakulása az érés folyamán (Schmallfuss, 1952)

### 2.3. A foszforhiány tünetei, hatásai

Foszforhiány esetén a növények rosszul fejlődnek, elmaradnak a növekedésben és merev tartásúak. A szárrészek vékonyak, a gyökerek fejletlenek és gabonaféléknél a bokrosodás mérsékelt. A P hiánya a növekedés és gyökérfejlődés tekintetében hasonló a N-hiányhoz. Fontos megkülönböztető jegye a P-hiálynak a levelek elszíneződése: ekkor kékeszöld, tompa zöld, illetve piszkos zöld szín alakul ki, esetenként vöröses árnyalatok is megfigyelhetők antociánképződés következtében. A növény az idősebb leveleket sok esetben idő előtt lehullatja.

A hiányos P-ellátás mindig negatívan hat a virág- és termésképzésre. Gyümölcs- és gabonaféléknél jelentős terméseszkökenést okozhat. A gabonánál különösen fontos, hogy a vegetációs időszak végén, vagyis a szemképződés idején megfelelő mennyiségű P álljon rendelkezésre. Hiánya esetén csökkent fehérjeszintézis figyelhető meg különböző kultúrnövényeknél.

A foszforfelesleg közvetlen hatása általában nem észlelhető. Nagy foszforadagok, oldhatatlan vas- és cink-foszfát képződésével következtében, zavart okozhatnak a vas- és cinkellátásban, vas- és cinkhiányt indukálhatnak.

#### Kérdések

1. Milyen szerves és szervetlen vegyületekből áll a talaj foszforkészlete, mi a szerepük, jelentőségük?
2. Hogyan alakulnak át a vízzoldható foszforvegyületek a savanyú és lúgos (karbonátos) talajokon, hogyan változik a Fe- és Al-foszfátok, illetve a Ca-foszfátok oldhatósága a pH-tól függően?
3. Mi teszi lehetővé a P-vegyületek oldódását, mi a humáteffektus?
4. Milyen ionok formájában veszi fel a növény a foszfort, milyen tényezők befolyásolják a felvételt?
5. Hogy vesznek részt a különböző P-vegyületek a növények anyagcserefolyamataiban?
6. Milyen a P-tartalom megoszlása a vegetatív és generatív szervek között, milyen változások figyelhetők meg a kukoricaszem P-frakcióinak arányában, az érés folyamán?
7. Melyek a P-hiány tünetei és következményei?

### 3. Kálium

A növény anyagcsere-folyamataiban a kálium számos specifikus funkciót lát el. Az enzimekre szerkezetstabilizáló és aktiváló hatást fejt ki, szerepe van a fehérjeszintézisben és a szénhidrátok képződésében. Elősegíti az energiagazdag foszfátok képződését. A jó K-ellátás fokozza a fotoszintetikus aktivitást. Kedvező hatást gyakorol a növények vízháztartására, fokozza a növények



fagytűrőképességét. A kálium nem épül be a növények szerves vegyületeibe. A plazmafehérjékhez lazán kötve és részben szabad ionok formájában van jelen a sejtben, így fejt ki szabályozó hatását.

### 3.1. Kálium a talajban

A talajok összes K-tartalma 0,2-3,3 % között változik, a szikes talajokban a 6 %-ot is meghaladhatja (1 % K = 1,2 %  $K_2O$ ). A nagy kvarctartalmú homoktalajok és a szerves talajok (láptalajok) káliumban szegények. A talaj K-tartalma nagyrészt a szilikátokban kötve található, ezért az agyagtartalom növekedésével növekszik a K-tartalom. Így pl. viszonylag nagy a csernozjom és réti talajok K-tartalma.

A talaj K-tartalékait képező *primer* szilikátok közül legfontosabbak a földpátokhoz tartozó *káliföldpát*, a földpátpótló *leucit*, a csillámok közül a *muszkovit* és *biotit*, a csillámszerű *glaukonit*.

káliföldpát	$KAlSi_3O_8$
leucit	$KAlSi_2O_6$
muszkovit	$KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$
biotit	$K(MgFe)_3(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$

Az agyagásványok *másodlagos* képződmények. A primer szilikátokból a mállásfolyamatokban K válik szabaddá. A csillámokból és földpátokból előbb illitek képződnek, melyek a rétegrácsok duzzadása és további K-vesztés révén vermikulitokká és szmektitké alakulnak át:



Az illitek, vermikulitok és szmektitok 2:1 típusú háromrétegű agyagásványok (két szilícium-tetraéder réteg fog közre egy alumínium-oktaéder réteget). Az illitek, vermikulitok és szmektitok duzzadó és K-megkötő képessége a felsorolás sorrendjében növekszik. A K-fixálására elsősorban a táguló rétegrácsú vermikulitok és szmektitok, valamint a már részben fellazult, kitágult illitrácsok képesek. A mállás tehát egyrészt szabaddá teszi a káliumot, másrészt káliumkötő (fixáló) ásványokat hoz létre.

*Az ásványi talajokban a K négy különböző formában található:*

- ionos formában a talajoldatban,
- ionos formában a kolloidokon adszorbeálva,
- fixált K,
- az ásványok kristályrácsaiban.

A növények számára csak az első két forma közvetlenül hozzáférhető, a másik kettő nem. A talajoldat K-tartalma mindössze 1-2 %-a a kicserélhető K-nak és a kicserélhető K szintén csak 1-2 %-a az összes K-nak, ezért a talaj K-tartalmának legnagyobb része nehezen hasznosítható. A különböző oldhatóságú K-formák egymással egyensúlyban vannak, egymásba átalakulhatnak.

A talajoldat K-tartalma és a kicserélhető K-tartalom között viszonylag gyorsan beáll az egyensúly, a tartalékformákból viszont csak nagyon lassan jut oldatba újabb K. Ugyanakkor a műtrágyával a talajba vitt K egy része fixálódhat.

A K-fixálás a  $K^+$ -ionok irreverzibilis megkötése a 2:1 típusú (háromrétegű) agyagásványokon. A K beépül a kristályrács rétegei közé, a rétegek szorosra záródnak, az ásványok elveszítik duzzadásképeségüket és ezért a K az ioncsere folyamatokban nem lesz kicserélhető (28. ábra).

28. ábra: A K-fixálás hatása az illitrétegek duzzadásképeségére (Schachtschabel, 1961)

A fixált K gyengébben kötött, mint a kristályok rácsában eredetileg jelenlevő, natív K, tehát könnyebben mobilizálható. A K-fixálás elsősorban az agyag minőségétől függ, de a nagyobb agyagtartalmú talaj általában több K-ot köt meg. Szántóföldi tartamkísérletekben megállapították, hogy a fixálás különösen olyan talajokon nagymértékű, melyekben több éven át nem adtak K-műtrágyát, illetve az adagok nem fedezték a növények szükségletét. Az ilyen talajokon csak nagy K-adagokkal érhető el K-hatás. A K-fixálás különösen száraz talajban nagymértékű, mivel a zsugorodás elősegíti a megkötést.

A növények K-ellátása szempontjából döntő jelentőségű a talajoldat K-tartalma. A talajoldat K-koncentrációja elsősorban a kicserélhető K-tartalomtól függ, az egyensúly következtében, az egyensúly azonban másként alakul laza és kötött talajokon. Homoktalajon a kicserélhető K-tartalom növekedésével nagyobb mértékben növekszik az egyensúlyi talajoldat  $K^+$ -ion koncentrációja, mint agyagtalajon (29. ábra). Ez egyben azt is jelenti, hogy azonos kicserélhető K-tartalom esetén a homoktalajon mindig több  $K^+$ -ion van a talajoldatban, mint az agyagtalajon. A jelenség oka az, hogy minél nagyobb az agyagtartalom, annál inkább érvényesül a  $K^+$ -ionok szelektív kötődése az agyagásványokon.

29. ábra: A talajoldat K-tartalma és a kicserélhető  $K^+$  közötti összefüggés homok- és agyagtalajon (Mengel, 1976)

### 3.2. A K felvétele, eloszlása és szerepe

A növények  $K^+$ -ion formájában veszik fel a káliumot a talajoldatból. A felvétel során érvényesül a növények válogatóképesége. Annak ellenére, hogy a talajoldatban a Ca- és Mg-koncentráció általában nagyobb, mint a K-koncentráció, a növények mégis sokkal több káliumot vesznek fel,

mint kalciumot, illetve magnéziumot. A K-tartalom növényfajonként eltérő, különösen nagy a fűvek K-tartalma és általában többszöröse a Ca-, Mg-tartalomnak. A növények jó K-feltevő képességét az aktív felvétel biztosítja.

Bár a növények K-felvétele szelektív, más ionok túlsúlya akadályozhatja a felvételt. Fontos a talajoldat Ca/K aránya. *Ehrenberg* évtizedekkel ezelőtt megfogalmazta a mészkáli törvényt, mely szerint bőséges K-ellátás mellett a Ca-felvétel szorul vissza, míg Ca-felesleg esetén a K-felvétel. Ma már ismert, hogy valamennyi fémkation kölcsönösen akadályozhatja egymás felvételét, továbbá, hogy a fémkationok és az  $\text{NH}_4^+$ -ion között is *antagonizmus* áll fenn. Az antagonizmus azzal magyarázható, hogy a különböző kationok a gyökérfelületen egymást kiszoríthatják. Az *antagonizmus* azonban csak nagy koncentráció-különbségek esetén jut érvényre.

A *savanyú kémhatás* gátolja a K felvételét. Szélsőségesen alacsony pH-értékek mellett, ( $\text{pH} < 4,0$ ) a növények a gyökereken keresztül K-ot adnak le.

A *K felvétele és szállítása* a növény anyagcseréjével szoros kapcsolatban áll. Amennyiben a gyökér környezetében nem áll rendelkezésre megfelelő mennyiségű oxigén, a K felvétele visszaszorul. Ez csak szélsőségesen rossz szerkezetű talajokban fordul elő. Ebből következik, hogy a légzés, vagyis a szénhidrátok oxidatív lebontása a gyökérben, igen nagy jelentőségű a K felvétele szempontjából. A K-felvétel ugyanis energiaigényes folyamat.

A *K mozgékonyága* a növényben jó. Elsősorban az aktív anyagcsere helyekre vándorol, így a levelekbe és a merisztémás szövetekbe. Fiatal levelekben általában nagyobb a K-koncentráció, mint idősebbekben, s a fiatal növények szárazanyagában is nagyobb a K-tartalom, mint az idősebbekben. A Ca éppen ellenkezőleg az idősebb levelekben halmozódik fel nagyobb mennyiségben, mivel nem transzlokálódik. A K és Ca megoszlása a levélben és szárban is különbözik. A Ca-tartalom a levelekben rendszerint lényegesen nagyobb, mint a szárban. A levél- és szárrészek K-tartalma ezzel szemben sokkal kiegyenlítettebb (27. táblázat).

27. táblázat **Különböző növényfajok K- és Ca-tartalma  
levélben és szárban ekv./10 g légszáraz anyag  
(Scharer és Mengel, 1960)**

Növényfaj	K-tartalom		Ca-tartalom	
	levél	szár	levél	szár
Uborka	9,28	16,8	24,2	10,8
Napraforgó	10,20	8,20	8,10	4,30
Borsó	6,85	6,21	6,09	3,39
Dohány	9,72	7,03	8,63	2,02
Lóbab	8,06	6,39	3,04	1,05
Bokorbab	7,62	7,72	8,93	5,24

A K szerepe sokrétű. Résztvesz az élettani folyamatokban, az ozmoregulációban, a szénhidrátok és fehérjék képzésében. A jó K-ellátás fokozza a fotoszintetikus aktivitást, így a termés mennyisége és minősége szempontjából egyaránt fontos.

Szerepe az *élettani folyamatokban* azon alapszik, hogy az enzimekre szerkezetstabilizáló és aktiváló hatást fejt ki. Több mint 40 enzimet ismerünk, melyet a K aktivál. Az aktiválás alapja, hogy a K az enzimfehérjéhez kötődve megváltoztatja az enzim térszerkezetét, reakciókészségét.

A K szerepe a *keményítő* és *fehérjék* szintézisében, valamint a *fotoszintézisben* specifikus enzimaktiváláson alapszik. A *szacharóz* floemtranszportját is fokozza, ezért a jó K-ellátás elősegíti a cukor felhalmozódását a cukorrépában.

A *sejtnedvekben* oldott  $K^+$ -ionok, a többi oldott anyaggal együtt, határozzák meg a sejtállomány *ozmotikus nyomását*. A K a növények vízfelvételét részben ezen keresztül befolyásolja, részben pedig azáltal, hogy a többi fémkationnal együtt a plazmakolloidok duzzadtsági állapotát megváltoztatja. A jó K-ellátás kedvező a növények *vízháztartása* szempontjából, mivel csökkenti a transzspirációt és fokozza a vízfelvételt. A növények szárazanyagának K-tartalma és a transzspirált víz összefüggését a 30. ábra szemlélteti.

30. ábra: A transzspirált vízmennyiség a lucerna K-tartalmának függvényében  
(Blanchet és társai, 1962)

A káliumtrágyázással a növények *fagytűrőképességét* is fokozni lehet, mivel a nagy K-koncentráció a vakuolában–az ozmotikus potenciál változása következtében–a jégképződéssel együttjáró víztelenedés ellen hat az intercellulárisokban.

### 3.3. A káliumhiány és következményei

Gyenge K-ellátás esetén a kis molekulatömegű szénhidrátok és oldható N-vegyületek mennyisége növekszik. A cukrok és szabad aminosavak felhalmozódása K-hiányos növényeknél fokozza a kórokozók és kártevők iránti fogékonyságot. A K-mal rosszul ellátott növények kisebb mértékben képesek a szén-dioxid inkorporálására, mint a jól ellátott növények. A K-ellátás és a termés minőségének kapcsolatát a 8. fejezetben ismertettük.

*A káliumhiány tünetei.* Rossz K-ellátás esetén, száraz időben a növényeken hervadási tünetek figyelhetők meg. Az idősebb leveleken a *levélcsúcsoktól* kiindulva, vagy a *levélszéleken* klorofilltartalom csökkenés észlelhető. Világoszöld foltok keletkeznek, melyek fokozatosan megbarnulnak, végül a levélszövetek elhalnak (nekrózis). A fiatalabb levelek eközben még zöldek, ugyanis a növény képes a K-ot az idősebb levelekből a fiatal levelekbe átadni (transzlokálni).

A K-mal *hiányosan ellátott* növények K-tartalma többnyire kisebb 1,5 %-nál, a bőségesen ellátott növények ezzel szemben 2-6 % K-ot tartalmaznak a szárazanyagban. A K-tartalom a növény korától is függ. A gabona bokrosodáskor pl. 5-6 % K-ot, míg az érett szalma 1-1,5 % K-ot tartalmaz.

#### Kérdések

1. Melyek a primer és szekunder K-szilikátok, hogyan alakulhatnak át egymásba?
2. Milyen formákban található a kálium a talajban, mi az egyes formák jelentősége a növények táplálásában? Mit kell tudni a K-fixálásról?
3. Hogyan változik a talajoldat K-tartalma a kicserélhető kálium függvényében homok-, illetve agyagtalajon?
4. Hogyan veszik fel a növények a káliumot, és milyen tényezők befolyásolják felvételét?
5. Mi a kálium szerepe az élettani folyamatokban, hogyan befolyásolja a káliumellátás a növények vízháztartását, fagytűrőképességét, a szénhidrátok és fehérjék képződését?
6. Melyek a káliumhiányra jellemző tünetek, milyen következményekkel jár a hiányos káliumellátás?

### 4. Kalcium

A kalcium szerepe csak részben ismert és nem minden esetben specifikus. Jelentős hatása van a plazmakolloidok duzzadtsági állapotára, illetve az ozmotikus potenciálra. Elősegíti a hosszirányú növekedést és a sejtszaporodást a merisztémás szövetekben. Különösen a sejtmelegnyúlásra, differenciálódásra fejt ki specifikus hatást. Fontos szerepet játszik a sejtfalak középlemezeiben, a pektin stabilizálásában. A sejtmembránok szerkezetét és áteresztőképességét nagymértékben befolyásolja. A calmodulin olyan regulátorfehérje, mely Ca jelenlétében számos enzim aktivitását szabályozza.

#### **4.1. Kalcium a talajban**

A többi elemhez hasonlóan a Ca is nagyrészt oldhatatlan vegyületek formájában van jelen a talajban. A tartalékok mobilizálhatósága azonban eltérő. A szilikátok és apatitok formájában jelenlévő Ca csak igen lassú mállás után válik szabaddá, míg a karbonátok, így a kalcit:  $\text{CaCO}_3$  és a dolomit:  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  viszonylag könnyebben mobilizálható. A kalcium-karbonát szénsav jelenlétében vízdoldható kalcium-hidrogénkarbonáttá ( $\text{Ca}/\text{HCO}_3/2$ ) alakul. A talajban a szerves anyag lebontása révén folyamatos a szén-dioxid képződése és így a Ca- és Mg-karbonátok oldódása.

A talajoldatban általában nagy a  $\text{Ca}^{2+}$ -ion koncentráció, mivel a talajkolloidokon viszonylag nagy az adszorbeált  $\text{Ca}^{2+}$ -ionok mennyisége és így a talajoldatban egyensúlyban lévő ionok mennyisége is. Meszes talajokon ezenkívül a karbonátok oldódása révén további  $\text{Ca}^{2+}$ -ionok jutnak az oldatba. A telített és meszes talajokon ennek következtében a növények bőséges Ca ellátása biztosított. Ca-hiány elsősorban telítetlen talajokon  $\text{pH} \leq 5$ -nél lép fel.

A talaj termékenységé, fizikai és kémiai tulajdonságai szempontjából egyaránt fontos, hogy az adszorpciós komplexum minél nagyobb része  $\text{Ca}^{2+}$ -ionokkal legyen telítve. A talajban a műtrágyákkal a talajba jutó gipsz, továbbá a műtrágyákkal kölcsönhatásban képződő kalcium-nitrát, kalcium-klorid is növeli a vízdoldható Ca-tartalmat. A vízdoldható vegyületek egy része kimosódik, a kimosódási veszteség jelentős lehet (9.2. fejezet).

#### **4.2. A kalcium felvétele, eloszlása és szerepe a növényben**

A növények a Ca-ot  $\text{Ca}^{2+}$ -ion formájában veszik fel. A  $\text{Ca}^{2+}$ -ion felvételét a többi fémkation és az ammóniumion visszaszoríthatja. A növények Ca-tartalma általában kisebb, mint a K-tartalom, a szárazanyag Ca-tartalma többnyire kevesebb 1 %-nál. Kivételt képeznek a kétszikűek, melyekben a Ca-tartalom 1-3 %.

A Ca szállítása alapvetően különbözik a K szállításától a növényben, mivel a Ca a xilemben akropetális irányban vándorol. A szállított mennyiséget a transzspiráció mértéke határozza meg. A Ca a levelekből alig vándorol vissza más szervekbe, ezért a levelekben nagy Ca felhalmozódás figyelhető meg. Ez magyarázza, hogy legtöbb esetben az idősebb levelekben nagyobb a Ca-tartalom, mint a fiatal levelekben, továbbá azt, hogy a levelekben nagyobb a Ca-tartalom, mint a szárrészekben.

A Ca a növényben szabadon, illetve a plazmakolloidokhoz kötve fordul elő. Ezenkívül sók formájában is megtalálható, így Ca-foszfát, Ca-karbonát, Ca-oxalát, Ca-pektinát és az inozit-hexafoszforsav Ca-Mg sójaként (fitin).

A Ca-foszfátok a sejtállomány *pufferolásában* játszanak szerepet. Korábban a Ca-nak méregtelenítő szerepet tulajdonítottak az anyagcsere-folyamatokban képződő savak, pl. oxálsav semlegesítésével. Ez az elmélet megdőlt, ugyanis megfigyelték, hogy az oxálsav termelése a kalciumadagolás hatására növekszik és egyes növényekben szabad oxálsav is előfordulhat károsító hatás nélkül. A fitin a magvakban halmozódik fel nagyobb mennyiségben. A Ca-pektinát a sejtfaalak középlemezeiben található.

A *plazmakolloidokban* adszorbeált kalcium zsugorító hatást fejt ki és a többi kationnal együtt szabályozza a kolloidok állapotát. Megteremti a szelektív ionfelvétel és szállítás feltételeit. A Ca serkenti a merisztémás szövetek sejtjeinek hosszanti növekedését és osztódását. Különösen a *sejt megnyúlásra, differenciálódásra* fejt ki specifikus hatást. Kedvezően hat a *gyökérnövekedésre* is. A sejtmembránok szerkezetét és *permeabilitását* döntően befolyásolja. Ca-hiány esetén a sejtmembránok áteresztőképessége megnő, ami kedvezőtlen, mivel az ionok kiáramlását eredményezheti a vakuólából. A Ca hiány további következménye lehet a sejtmag szerkezetének felbomlása, a kromoszóma stabilitás csökkenése, illetve mitokondriumok bomlása. E folyamatok kihatnak a sejtosztódásra, illetve a légzési anyagcserére.

A Ca a fejlődés kezdeti szakaszától (csírázás) az egész tenyészidőszakban kedvező hatást fejt ki a növények fejlődésére, elősegíti a többi tápelem felvételét. A növények zavartalan ellátásához a talajoldatban legalább 20 mg Ca/dm<sup>3</sup> jelenléte szükséges.

A *Ca enzimaktiváló* szerepe hosszú ideig tisztázatlan volt. Csak kevés enzimet aktivál közvetlenül specifikusan. Azonban állati sejtekben olyan regulátorfehérjét fedeztek fel, amely Ca jelenlétében számos enzim aktivitását szabályozza. A calmodulin 148 aminosavból álló polipeptid, mely négy Ca<sup>2+</sup>-iont képes megkötni (31. ábra).

31. ábra: A calmodulin vázlata (Mengel és Kirkby, 1987)

A *calmodulin*nak elnevezett fehérjét később növényekben is azonosították. A Ca-calmodulin a NAD-kináz és a növényi proteinázok aktiválására képes. Újabban a calmodulin *második hírvívő* szerepét is bizonyították, vagyis azt, hogy a környezeti hatásokra megváltozó *hormonok (elsődleges hírvívők)* funkciójában közvetítő szerepet tölt be. Ennek következtében a Ca-szint változása hatással lehet a hormonok működésére.

#### 4.3. A kalcium hiánya és következményei

A *Ca-hiány* a növényben nem csak akkor észlelhető, amikor nagyon kevés Ca<sup>2+</sup>-ion van a talajban, a Ca felvételét a csökkent transzspiráció is akadályozhatja.

A Ca-hiány *tünetei* a Ca funkcióinak megfelelően legelőször a legfiatalabb, még differenciálódó szervekben jelentkeznek, pl. gyökerekben, hajtáscsúcsokon, fiatal leveleken. A gyökereken szövetelhalás, barnulás figyelhető meg. A levelek rendszerint kisebbek, deformáltak, csúcsaik és széleik kanalasan felkunkorodnak. A levélszélektől kiindulva klorózis lép fel, a klorotikus leveleken barna foltok képződnek. Az elváltozásokat gyakran az erek barnulása előzi meg a még zöld levélszövetben. A levelek a csúcstól az alap felé haladva elhalnak.

Csökkent transzspiráció miatt–akadozó Ca-ellátás következtében–*szárpuhulás, szártörés* léphet fel. A paradicsomnál különösen üvegházban a gyümölcsök *csúcsrothadása* észlelhető, hasonló tünetek léphetnek fel a görögdinnyénél.

Az intenzív almakultúrákban egyre gyakoribb a foltosodás, *stippesedés* ("bitter pit") az almán, ami részben már a fán, de sok esetben csak a tárolás során alakul ki. A keserű foltosság a Ca-hiány következménye, melyet a rossz Ca-ellátáson kívül a K-, Mg-, illetve a N-felesleg is kiválthat. A N-felesleg laza szöveteket okoz.

A termésben előforduló Ca-hiány a *Ca szállításával* függ össze. A floemtranszportra utalt szervek (fejlődő hajtások, gumók és termések) nem jutnak megfelelő mennyiségben a xilemben szállított Ca-hoz, mivel nem transzspirálnak. Csökkent Ca-ellátás esetén az élénken transzspiráló szervek elvonják a termésekből a Ca-ot. Levélpermettel a Ca-hiány csak enyhíthető, de nem szüntethető meg, mivel a Ca a levelekből nem transzlokálódik.

#### Kérdések

1. Melyek a könnyen oldható, mobilizálható és tartalék Ca-vegyületek a talajban?
2. Milyen talajokon lép fel Ca-hiány a növényeknél?
3. Mit tud a Ca felvételéről és szállításáról a növényben?
4. Mi a Ca szerepe a növényben, mi a calmodulin?
5. Melyek a Ca-hiány tünetei és következményei?

## 5. A magnézium

A Mg mint a klorofill alkotórésze jelentős szerepet tölt be az asszimilációs folyamatokban. A Mg-tartalom nagyobb része ionos állapotban szabadon, illetve a plazmafehérjékhez kötve fordul elő a növényben. Mint enzimaktivátor specifikus funkciókat lát el, elsősorban a foszforilálási folyamatokban, s ezen keresztül közvetve a fotoszintézisben, a légzésben, a tartaléktápanyagok képzésében és a N-anyagcserében.

### 5.1. Magnézium a talajban



A Mg legnagyobb része szilikátok és karbonátok formájában van jelen a talajban. Fontosabb Mg-tartalmú szilikátok: a *biotit*, a *szerpentin* és az *olivin*; illetve az agyagásványok közül a *klorit* és *vermikulit*. A szilikátok nehezen hasznosíthatók, Mg-tartalmuk csak az ásványok mállása révén válik szabaddá, míg a karbonátok (*magnezit* és *dolomit*) szénsavas vízben oldódnak, ezért viszonylag könnyen mobilizálható tartalékok. A növények táplálkozása szempontjából legfontosabb a kicserélhető és vízdoldható Mg mennyisége.

A közvetlenül hasznosítható oldható és kicserélhető Mg-tartalom szoros összefüggésben van a talajtulajdonságokkal és a talajok képződési viszonyaival. A könnyen oldható és a kicserélhető Mg mennyisége növekszik a kolloidtartalommal, így általában minél nagyobb a talaj agyag- és humusztartalma, annál több benne a kicserélhető Mg. A talajok Mg-tartalma ezenkívül függ a kilúgzás mértékétől. Emiatt a kilúgzott és a kolloidban szegény savanyú talajokban található a legkevesebb könnyen oldható és kicserélhető Mg.

Hazai talajaink között legkisebb a váztalajok csoportjába tartozó savanyú homoktalajok és az erősen kilúgzott barna erdőtalajok Mg-tartalma. A csernozjom talajok, réti talajok, láptalajok Mg-tartalma lényegesen nagyobb és a felsorolás sorrendjében növekszik. Sok Mg-ot találunk a szikes talajokban is. Egy-egy fő típuson belül nagy különbségek lehetnek a Mg-tartalomban a pH és kötöttségtől függően.

A kicserélhető Mg mennyisége általában kisebb, mint a kicserélhető Ca-tartalom, de nagyobb, mint a K-tartalom. A talajoldat Mg-tartalmát a kicserélhető és az oldható, illetve mobilizálható készletek együtt szabják meg.

## **5.2. A magnézium felvétele, eloszlása, szerepe**

A növény a Mg-ot  $Mg^{2+}$ -ion formájában veszi fel. A Mg felvételében is érvényesülhet a fémkationok közötti antagonizmus és az ammóniumion gátló hatása. Kimutatták, hogy a nitrát-N-nel táplált növények több Mg-ot vesznek fel, mint az ammónium-N-nel táplált növények. A Mg felvételét a savanyú kémhatás is gátolja.

A növényben elsősorban a csúcsok irányába vándorol, de az a tény, hogy a Mg-hiány elsősorban az idősebb levelekben észlelhető, arra utal, hogy hiányos Mg-táplálkozás esetén a Mg az idősebb levelekből a fiatalabb levelekbe vándorol.

Különböző korú burgonyalevelek szárazanyagában mért Mg-tartalmat szemlélteti a 32. ábra. Az ábrából kitűnik, hogy látható Mg-hiány az idősebb leveleken lép fel és ez a szárazanyag kis Mg-tartalmával párosul. Bőséges Mg táplálkozás esetén éppen fordított a Mg eloszlása, az idősebb levelek tartalmaznak többet.

32. ábra: Különböző korú burgonyalevelek Mg-tartalma hiányos Mg-ellátás mellett (Werner, 1960)

A növények Mg-tartalma általában kevesebb, mint a szárazanyag 0,5 %-a. A 0,2 %-nál kisebb Mg-tartalom Mg-hiányra utal. Az összes Mg-nak mintegy 15-20 %-a a klorofillban található, legnagyobb része azonban ionos formában, továbbá kelátszerű kötésben. Egy része sókban (pl. Mg-oxalát, fitin) található. A magvakban viszonylag sok Mg halmozódik fel.

A Mg mint *enzimaktivátor* elsősorban a foszforilálási folyamatokat aktiválja. A Mg enzimaktiváló szerepe teszi érthetővé, hogy függetlenül a klorofillban betöltött funkciójától, a Mg-hiány korlátozott asszimilációval jár, a csökkent foszforilálás következményeként. A jó Mg-ellátás növeli a *fotoszintetikus aktivitást*. A gabonaféléknél a megfelelő Mg-ellátás segíti a fotoszintézisben döntő szerepet játszó zászlós levél életben tartását. A kukoricalevelek Mg-tartalma és a szén-dioxid fixálás kapcsolatát, kísérleti eredmények alapján, a 33. ábra szemlélteti. A Mg-nak szerepe van a *szénhidrátképzésben* is. Hiánya esetén csökken a növények szénhidráttartalma, pl. a burgonya keményítőtartalma.

33. ábra: Összefüggés a kukoricalevelek Mg-tartalma és a CO<sub>2</sub>-asszimiláció között (Peaslee, Moss, 1966)

A Mg résztvesz a *fehérjeszintézisben*. Mg-hiány esetén csökken a növényekben a fehérjefrakció és növekszik a nem fehérjeszerű anyagok mennyisége. A fehérjeszintézis gátolt, de nem aminosavak hiányában, inkább a megfelelő enzimatikus folyamatok elmaradása következtében.

A Mg egyéb szerepe: savanyú talajon megakadályozza az Al-toxicitást.

### 5.3. A Mg hiánya és következményei

A Mg-hiány kedvezőtlenül befolyásolja a növények asszimiláló és szintetizáló tevékenységét, ami károsan hat a termés mennyiségére és minőségére.

A leveleken jellegzetes *látható hiánytünetek* észlelhetők a csökkent klorofillképződés következtében. Gabonaféléknél és fűveknél a világoszöld levélfelületen sötétzöld gyöngyfűzészerű klorofill felhamozódás látható. Kukoricánál a levelek csíkozottsága jellemzi a Mg-hiányt. A burgonya, dohány, bab, szója, cukorrépa, szőlő és gyümölcsfélék idősebb levelein a klorofilltartalom csökkenése *levélerek között*–előbb sárga foltok kialakulásához vezet, majd fokozatos szövetelhalás (nekrózis) következik be.

Kérdések

1. Milyen formákban található a Mg a talajban, mi az egyes formák jelentősége?
2. Milyen a hazai talajok Mg-ellátottsága, hol fordul elő hiány?
3. Hogyan veszi fel a növény a Mg-ot, milyen az eloszlása a növényben?
4. Mi a Mg szerepe az anyagcsere-folyamatokban?
5. Melyek a Mg-hiány tünetei?

## 6. A kén

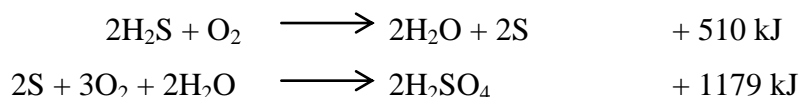
A kén a kéntartalmú aminosavak építőeleme, a peptidek, fehérjék és lipidek alkotórésze. A kéntartalmú vegyületek élettanilag fontos redoxirendszereket képeznek. A kén specifikus szerepe az SH-csoportot tartalmazó enzimekben és koenzimekben jut érvényre (pl. CoA-SH). A koenzim-A citromsavciklus és a zsírsavak szintézise szempontjából jelentős. A cisztein tartalmú enzimeknek a citokrómokhoz, illetve a citokróm-oxidázokhoz hasonló a funkciójuk, azaz redoxienzimek.

### 6.1. Kén a talajban

A kén a talajban szerves és szervetlen kötésben fordul elő. A *szerves* kéntartalom a humusztartalom növekedésével növekszik: podzolos talajokon kb. 50 %-a, a csernozjomokon 75 %-a a talaj összes kéntartalmának. Láptalajokon ennél több is lehet. A *szervetlen* kéntartalom szulfátokból és

szulfidokból áll. A legfontosabb *szulfátok*: a gipsz  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  és az anhidrit  $\text{CaSO}_4$ , szikes illetve sós talajokon  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  és  $\text{MgSO}_4$  is előfordulhat. Szulfidok:  $\text{FeS}_2$  és  $\text{FeS}$ .

A talajok kénforgalmában nagy szerepe van a *szerves anyag* ásványosodásának. Az *ásványosodás* során felszabaduló kénhidrogén ( $\text{H}_2\text{S}$ ) elemi kénré, majd szulfáttá oxidálódik (szulfurikáció):



A növények a ként szulfát ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ionként veszik fel. A növényben a szulfát jelentős része *redukálódik*, SH-csoportok képződnek. A kén körforgalma a nitrogén körforgalmához hasonló. A növényben a szulfát- és nitrátion redukálódik, a talajban a redukált formák oxidálódnak.

A S körforgalmában kedvezőtlen viszonyok között zavar léphet fel. Így pl. *szellőzetlen, összeiszapolt* talajban a szulfát kén-hidrogénné redukálódhat. Ez egyrészt azért káros, mivel a kén-hidrogén a növényekre mérgező hatású, másrészt a kén-hidrogén vassal oldhatatlan vas-szulfidokat képez és így a kén és a vas felvétele is gátolt. Rizsföldeken emiatt sok esetben vashiány figyelhető meg. A fémszulfidok képződése következtében más mikroelemek hiánya is felléphet.

A denitrifikáció analógiájára a szulfát redukcióját a talajban *deszulfurikációnak* nevezzük. Jó szerkezetű, jól szellőző talajokon deszulfurikáció nem következik be. Itt a kimosódás okozhat veszteségeket.

Az energiahordozók elégetésével nagy mennyiségű  $\text{SO}_2$  jut a légkörbe, majd a csapadékkal a talajba. Közép-Európában mintegy 30-70 kg-ra tehető a légköri lecsapódásokból évente a talajba jutó S-mennyiség, az iparvidékeken lényegesen több. A barnaszén felhasználásának csökkenésével kisebb lett az  $\text{SO}_2$  kibocsájtás, illetve a csapadékkal (savas eső) talajba jutó S mennyiség.

## **6.2. A kén felvétele és szerepe a növényben**

A növény a ként legnagyobb részben a *gyökéren keresztül* szulfát formájában veszi fel. Ezenkívül a növények a levegőből *levélen keresztül* kén-dioxidot is vesznek fel. Az iparvidékek közelében előforduló nagy kén-dioxid koncentráció káros (mérgező) hatású lehet.

A *szulfátionok felvételét* a talajban nagyobb mennyiségben előforduló ionok és a talajok kémhatása nem befolyásolják számottevően. A felvétel lassú. A szulfát a levelekbe szállítódik, ott redukálódik, majd beépül szerves vegyületekbe. Elsődleges termék a cisztein. A levélben redukált és asszimilált kénnek legnagyobb része glutation és metionin formájában szállítódik.

A növényben a S *szerves* és *szervetlen* formában is megtalálható. A két frakció között nincs meghatározott arány. A szervetlen frakció, vagyis a szulfát a kéntartalékot képezi (luxus felhalmozódás, 34. ábra).

34. ábra: Növekvő szulfátadagok hatása a szulfát-S és szerves S tartalom alakulására napraforgólevélben (Deloch, 1960)

A kén különböző szerves vegyületekben más-más kötésben fordul elő. A kéntartalmú aminosavakban, peptidekben és fehérjékben *szulfhidrilcsoportok* formájában van jelen. A szulfhidrilcsoportot tartalmazó vegyületek *diszulfidokká* alakulhatnak át oxidáció folytán, ilyen pl. a cisztein-cisztin átalakulás. A két vegyület redoxirendszert képez (35. ábra). A mustárolajokban a kén *rodanid* (-SCN) csoport alakjában van jelen. A keresztesvirágúak viszonylag nagy kéntartalmát a mustárolajok és származékaik okozzák. A B<sub>1</sub>-vitaminban és biotinban a kén *heteroatomként* fordul elő a gyűrűkben. A B<sub>1</sub>-vitamin a gabonaszemben és pillangósok magvaiban található nagyobb mennyiségben.

### 35. ábra: A cisztein – cisztin átalakulás

A kén specifikus szerepe az -SH-tartalmú enzimekben és a redoxirendszerekben érvényesül. A *glutathion* a cisztein-cisztin rendszernél is fontosabb redoxirendszert képez, mivel vízzoldható. A glutathion fontos szerepet játszik a stresszrezisztenciában is.

A kén, mint *építőelem* is igen fontos. A diszulfidhidak pl. nagymértékben stabilizálják a fehérjék szerkezetét a polipeptidláncok összekötése révén. A cisztein és metionin a kéntartalmú fehérjékben fordul elő. A növényekben a nagy fehérjetartalom többnyire nagy kéntartalommal párosul.

Európában a S-hiány ritka. A *műtrágyákkal* (ammónium-szulfát, kálium-szulfát, szuperfoszfát), és a *csapadékkal* a terméssel kivont kénmennyiségek többszöröse jut évente a talajba. A S-mérleg pozitív, vagy negatív voltát a kimosódás határozza meg. A keresztesvirágúaknak nagyobb a kénigénye, mint a gabonaféléknek vagy kapásoknak. Egy repcetermással kb. 35 kg/ha, egy gabonatermással kb. 15 kg/ha S-t vonunk ki a talajból. A pillangósvirágúak viszonylag nagy fehérjetartalmuk következtében nagyobb S-igényűek (28. táblázat).

28. táblázat **Különböző növények termésének kéntartalma (%)**  
(Deloch, 1960)

Gabonafélék		Pillangósok		Keresztesvirágúak	
Árpa	0,18	Lóbab	0,24	Repce	1,0
Zab	0,18	Bokorbab	0,24	Fehérmustár	1,4
Búza	0,17	Borsó	0,27	Olajretek	1,7
Kukorica	0,17	Szója	0,32	Feketemustár	1,0

### 6.3. A kénhiány és következményei

Nem megfelelő S-ellátás esetén a fehérjeszintézisben lépnek fel zavarok. Kénhiány esetén növekszik az oldható N-vegyületek mennyisége és *csökken a fehérjetartalom*

A *kénhiány tünetei* a csökkent fehérjeszintézis miatt a nitrogénhiány tünetekhez hasonlóak. Rossz kénellátás esetén világoszöld, később sárga, esetenként vöröses elszíneződésű levelek figyelhetők meg. A kénhiányos növények merev tartásúak. A nitrogénhiánytól eltérően a kénhiány a legfiatalabb leveleken figyelhető meg. A keresztesvirágúaknál a satnya növekedés mellett a levéllemezek kiszélesedése gátolt, hosszú, keskeny levelek képződnek. A kénhiányos növényekben a S-tartalom lényegesen kisebb, mint a kénrel megfelelően ellátott növényekben. Ezenkívül kicsi a fehérjetartalmuk és szervesetlen kéntartalmuk is.

Kérdések

1. Jellemezze a talaj szerves és szervesetlen kénvegyületeit!
2. Milyen hasonlóságok mutatkoznak a S és N forgalmában?
3. Hogyan veszi fel a ként a növény, és milyen vegyületekben tárolja?

4. Mi a kénvegyületek szerepe az anyagcsere-folyamatokban?
5. Melyek a kénhiány tünetei és következményei?

## 7. A vas

A vas a növényekben különböző prosztetikus csoportokban hem, illetve hemin formában fordul elő. Szerepe a citokrómokban, a peroxidázban, a katalázban és más vastartalmú enzimekben az elektronfelvételen illetve leadáson alapszik. A vas nélkülözhetetlen a légzés, a klorofillképződés, a fotoszintézis és fehérjeképzés folyamataiban.

### 7.1. Vas a talajban

A talajok összes Fe-tartalma 0,5-5,0 % közötti, vagyis viszonylag nagy. A Fe különböző ásványok kristályrácsában, így a *csillámokban*, *augitban*, *olivinben*, és *biotitban* található. A mállásfolyamatokban vas-oxidok és oxihidrátok képződnek. Az adszorpciós komplexuson  $\text{Fe}^{2+}$ -,  $\text{Fe}^{3+}$ -, vagy  $\text{Fe}(\text{OH})_2^{+}$ -,  $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ -ionok kötődhetnek meg. A talaj *oldható Fe-tartalma* általában kicsi, a pH csökkenésével növekszik. A Fe mozgékonyasága a savanyú talajokban jó. Ennek következtében a feltalaj oldható Fe-tartalma a mélyebb rétegekbe mosódik, ott kicsapódik. A kelátok a Fe-at megvédik a kicsapástól, a vaskelátok oldatban maradnak.

A *Fe mozgékonyasága* a talajban ezenkívül függ az oxidációs, redukciós viszonyoktól. A  $\text{Fe}^{3+}$ -ionok csak pH=3 alatt maradnak oldatban, felette kicsapódnak, míg a  $\text{Fe}^{2+}$ -ionok csak a semleges pont közelében csapódnak ki vas-hidroxid formájában.

A *Fe felvehetőségét* alapvetően a *kémhatás* és az *oxidációs-redukciós* viszonyok határozzák meg. Savanyú közegben a Fe-vegyületek jól oldódnak, a pH növekedésével az oldhatóság csökken. Ezért karbonátos talajokon a növények Fe ellátása veszélyeztetett. A redukciós viszonyok a mozgékony  $\text{Fe}^{2+}$ -ionok, az oxidációs viszonyok a könnyen kicsapódó  $\text{Fe}^{3+}$ -ionok képződésének kedveznek. A pH növekedése is a nagyobb vegyértékű forma kialakulását segíti elő. A vashiány emiatt leginkább karbonátos homokokon fordul elő.

### 7.2. A vas felvétele, eloszlása és szerepe a növényben

A legtöbb növény a vasat  $\text{Fe}^{2+}$  formájában veszi fel. A  $\text{Fe}^{3+}$ -ionokat előbb redukálnia kell. Az ionok szállítása specifikus kelátképzőkkel történik. A nehézfémek (Cu, Zn) kelátképzési hajlamuktól függően gátolják a Fe felvételét és szállítását. A gátlás azon alapszik, hogy a vasat kiszorítják a kelátkomplexből.

A *Fe-felvételét* számos ion gátolja. A nagy *foszfátion*-koncentráció kedvezőtlen hatású, mivel oldhatatlan Fe-foszfátok képződhetnek a talajoldatban és a növények szállító rendszerében is,

mindkét folyamat akadályozza a növény Fe-táplálását. Nagy *Ca*- és *Mn*-ion koncentrációk a talajban és a növényben akadályozzák a vas érvényesülését. A *nitráttáplálás* akadályozza, az *ammóniumtáplálás* elősegíti a Fe-felvételt. A jelenség a gyökérzet közelében lejátszódó kémhatásváltozással magyarázható.

A *Fe vándorlása* a növényben korlátozott, mégis jobb, mint pl. a  $\text{Ca}^{2+}$ -ionok mozgása. A növényben található Fe-tartalomnak csak kis része vízzoldható, a többi szerves vegyületekhez kötött. A Fe az enzimek prosztetikus csoportjában fejt ki specifikus hatását. Funkcióinak megfelelően viszonylag nagy a *mitokondriumok*, *kloroplasztiszok* és *sejtmagok* Fe-tartalma.

A Fe nem alkotórésze a klorofillnek, azonban hiányában csökken a klorofill képződése. A citokrómok és ferredoxinok az elektrontranszport részesei, hatásuk az  $\text{Fe}^{2+}$   $\text{Fe}^{3+}$  vegyértékváltozáson alapszik. Az Fe-S-tartalmú enzimeknek a nitrogénkötésben, az Fe-Mo-S-tartalmúaknak a nitrátredukcióban van szerepük.

### 7.3. A vashiány és következményei

*Fe-hiány* esetén a klorofilltartalom csökken, gátolt a fehérjeszintézis, s növekszik a redukálócukrok és szerves savak mennyisége.

A *Fe-hiány* klorotikus tünetekkel jár. A klorózis mindig a fiatal leveleken a teljes felületen lép fel, világoszöld, sárga, illetve fehér elszíneződés formájában. A Fe-hiányos növényekben a klorofilltartalom és a vastartalom egyaránt csökken. Az enyhe Fe-hiány tünetek Fe-pótlással gyorsan megszüntethetők. Előrehaladott Fe-hiánynál a Fe-trágyázás már hatástalan.

Az egyes növényfajok különböző növényi részeiben a Fe-tartalom általában 100-200 ppm Fe a szárazanyagra vonatkoztatva. Vannak *Fe-igényes* növények, ilyenek a *zab*, *spenót* és *rizs*, melyeknek szárazanyagában lényegesen nagyobb Fe-tartalom is előfordulhat. A gyökerekben, gumókban és a gabonaszemben viszonylag kis mennyiségben fordul elő a vas.

#### Kérdések

1. Milyen formákban található a vas a talajban?
2. Milyen talajtulajdonságok befolyásolják alapvetően a Fe felvételét?
3. Melyek a Fe felvételét befolyásoló egyéb tényezők?
4. Mi a Fe specifikus szerepe?
5. Milyen tünetek jellemzik a vashiányt, mik a következményei?

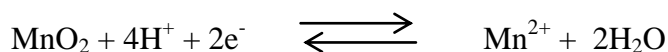
### 8. A mangán



A mangán a növényi anyagcsere-folyamatokban, mint enzimaktivátor a magnéziumhoz, illetve a vashoz hasonló funkciót tölt be. A citromsavciklusban, a lipidek képzésében, a fotoszintézisben fejti ki hatását.

### 8.1. Mangán a talajban

A mangán a talajban szilikátokban, karbonátokban ( $\text{MnCO}_3$ ) és oxidokban fordul elő II, III és IV vegyértékű formában. A  $\text{Mn}^{2+}$ -ionok elsősorban a talaj adszorpciós komplexumához kötve, vagy a talajoldatban szabadon találhatók. A növények csak a kétértékű ionokat tudják felvenni. Azok a Mn-vegyületek, amelyekben a Mn magasabb értékű formában van jelen, nehezen oldhatók. Legfontosabb Mn-tartalékok a különböző Mn-oxidok ( $\text{MnO}_2$ ,  $\text{MnO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  és  $\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), melyek a talajoldatban lévő  $\text{Mn}^{2+}$ -ionokkal pH függő egyensúlyban állnak, pl.



A savanyúság fokozódása tehát elősegíti a  $\text{Mn}^{2+}$ -ionok képződését.

A különböző értékű Mn-ionok és vegyületek, oxidáció és redukció révén egymásba átalakulhatnak, az átalakulás a talaj redoxipotenciáljától függ (36. ábra).

36. ábra: A mangánvegyületek átalakulása a talajban

Rosszul szellőző talajokon, alacsony pH-értékek mellett jelentős mennyiségű Mn redukálódhat. A  $\text{Mn}^{2+}$ -ionok koncentrációjának növekedése esetenként toxikus hatású is lehet. Semleges, illetve gyengén lúgos talajokon viszont az egyensúly annyira eltolódhat a III, illetve IV értékű Mn-vegyületek irányában, hogy a növények Mn-ellátása nincs biztosítva.

A *Mn-felvételt* a talajban élő mikroszervezetek is módosíthatják. A semleges pH-tartományban a mikroorganizmusok tevékenysége révén a  $\text{Mn}^{2+}$ -ionok  $\text{Mn}^{4+}$ -ionokká oxidálódnak, ennek következtében is léphet fel Mn-hiány. A Mn-vegyületek felvehetőségét a talajok nedvességtartalma is befolyásolja. A nagy víztartalom a redukciónak kedvez. A talaj erős kiszáradása viszont a különböző Mn-sók dehidratálásához vezethet. A dehidratálás a vegyületek oldhatóságát csökkenti.

A talajok *meszezése* a Mn-vegyületek oldhatóságát csökkenti, míg a fiziológiásan savanyúan ható műtrágyák alkalmazása a Mn-felvételének kedvez.

A talaj könnyen hozzáférhető Mn-készleteinek jellemzésére az úgynevezett *aktív* Mn meghatározása terjedt el. Az aktív Mn a *kicserélhető* és *könnyen redukálható* Mn-ból tevődik össze.

### 8.2. A mangán felvétele és szerepe a növényben

A növények a mangánt  $Mn^{2+}$ -ionok formájában veszik fel. A Ca-ionok akadályozzák a Mn felvételét és szállítását. A Mn és Fe felvételében bizonyos konkurrencia tapasztalható, mely a többi nehézfém esetén is fennáll. A Mn nagy redoxipotenciálja következtében (+0,8 V) a  $Fe^{2+}$ -ionok oxidációjára képes a növényi sejtben, vagyis a Fe oxidációfokát szabályozza.

A Mn számos enzim aktivátora. Mn(II)-ionként részt vesz a foszforilálási folyamatokban és a citromsavciklusban. A fotoszintézisben a víz bontását (Hill-reakció) segíti elő. Szerepe van a növekedésszabályozásban. Hatása ebben az esetben a  $Mn(II) \rightarrow Mn(III)$  vegyértékváltozáson alapszik.

A felsorolt példákból kitűnik, hogy a Mn hatásmechanizmusa egyes fiziológiai folyamatokban a Mg hatásmechanizmusához, míg más folyamatokban–melyekben hatása vegyértékváltozással kapcsolatos–a Fe-hoz hasonló.

A Mn az említett élettani folyamatokon keresztül kedvezően hat a szénhidrátok képzésére, így pl. a cukorrépa cukortartalmára. Egyes kísérletekben a zöldségfélék C-vitamin-tartalmát is növelte.

Az egészséges növények *Mn-tartalma* rendkívül széles határok között ingadozhat. Így pl. réti szénában 8-1000 ppm közötti. Különböző növényfajok Mn-felvétele azonos körülmények között is rendkívül eltérő, Mn-hiány elsősorban a nagy szervesanyag-tartalmú láptalajokon fordul elő. Savanyú talajon a Mn toxikus mennyiségben is felhalmozódhat.

### **8.3. A mangánhiány tünetei**

A kultúrnövények közül a zab reagál legérzékenyebben a Mn-hiányra. Szárazfoltosság lép fel. Ez tavasszal kezdődik a fiatal leveleken piszkos szürke csíkok, illetve foltok formájában. A levelek később megtörnek. A szárazfoltosság a többi gabonafélénél is jelentkezhet, csak kisebb mértékben. A spenót és borsó is Mn igényes növény. A kétszikűeknél háló-, illetve mozaikszerű klorózis figyelhető meg a levélerek között, később a levélszövetek elhalnak, barna pontok, illetve foltok jelennek meg.

#### **Kérdések**

1. Melyek a közvetlenül hozzáférhető és tartalék Mn-készletek a talajban?
2. Milyen talajtulajdonságok határozzák meg a növények Mn-felvételét?
3. Mit nevezünk „aktív” Mn-tartalomnak?
4. Mi a Mn szerepe az anyagcsere-folyamatokban, milyen hasonlóság figyelhető meg a magnéziummal, illetve a vassal?
5. Melyek a Mn-hiány tünetei, miben különböznek az egy- és kétszikűeknél?

## **9. A réz**

A réz specifikus élettani hatása kis ionátmérőjével, nagy atomtömegével, változó vegyértékével és komplexképzési hajlamával függ össze. Enzimek alkotórészeként résztvesz a légzési anyagcserében és az elektrontranszportban. Szerepe van a fotoszintézisben, valamint a szénhidrát- és fehérjeszintézisben is.

### **9.1. Réz a talajban**

A réz legnagyobb része szerves, vagy szervetlen kolloidokhoz kötve, kétértékű formában található a talajban. Előfordulhat szerves vegyületekben komplex kötésben is. Az egyensúlyi talajoldat  $\text{Cu}^{2+}$ -ion tartalmát elsősorban az adszorbeált és komplex kötésű Cu határozza meg. A talajoldat Cu-koncentrációja rendkívül kicsi: 0,01 ppm nagyságrendű. Az adszorpciós komplexumon kötött Cu nagyon erősen kötődik a felülethez, más kationok csak nehezen szoríthatják ki, erre elsősorban a  $\text{H}^+$ -ion képes. Többek között ezzel magyarázható, hogy savanyú közegben az oldható Cu-tartalom növekszik.

A Cu előfordulhat még a szilikátok kristályrácsában és különböző, *nehezen oldható* Cu-vegyületekben, mint pl. Cu-foszfát, Cu-karbonát, Cu-szulfid. A Cu-szulfidot a többi fémszulfidhoz hasonlóan a talajban élő kénbaktériumok oxidálhatják, miközben réz-hidroxid keletkezik.

A Cu *mozgékonyága* a talajban rendkívül kicsi. A Cu-tartalom a talajszelvényben a felszíntől lefelé haladva többnyire csökken. Az ionos állapotú Cu a talajba jutva rövid idő alatt lekötődik. A kelátok Cu-tartalma csak részben kötődik le, a lekötődés mértéke függ a kelát stabilitásától.

A Cu-*hiány* elsősorban szerves anyagban gazdag talajokon (láp és kotu) figyelhető meg, a Cu erősen kötődik a szerves anyaghoz.

### **9.2. A réz felvétele, eloszlása és szerepe a növényben**

A Cu-t a növény kis mennyiségben veszi fel. A Cu-ionok és Fe-, Mn-ionok felvétele között antagonizmus figyelhető meg. A Cu a többi fémkationt kiszoríthatja a kelátokból és a növény gyökérfelületéről is. Erősen kötődik a gyökérhez, a gyökerek Cu-tartalma többnyire lényegesen nagyobb, mint az egyéb növényi szerveké.

A Cu *mozgékonyága* a növényben csekély, feltételezik, hogy a szállításban aminosavak vesznek részt. A növények Cu-tartalma a szárazanyagban általában 2-20 mg/kg (29. táblázat), vagyis egy nagyságrenddel kisebb, mint a Mn-tartalom. Az összes Cu-nek mintegy 70 %-a a kloroplasztiszokban halmozódik fel, e tekintetben hasonlóság mutatkozik a vassal. Ezen alapszik a Cu szerepe a fotoszintézisben.

29. táblázat **Néhány növényi rész réztartalma**

---

Növény	Cu-tartalom mg/kg
Füvek	5–15
Vöröshere	8–10
Zab (szalma)	2–16
Zab (szem)	2–14
Tavaszi búza (szem)	1–11
Tavaszi búza (szalma)	1–4
Tavaszi árpa (szem)	1–11
Tavaszi árpa (szalma)	2–12

A kloroplasztiszokban különböző *Cu-tartalmú enzimek* (oxidázok) találhatók, ezekben a réz elektronszállítóként szerepel. Hatása a vegyértékváltozással magyarázható.

A Cu szerepe az anyagcserefolyamatokban többféle. Kísérletileg igazolták, hogy a Cu elősegíti a *szénhidrát- és fehérjeszintézist*. A Cu megvédi a klorofillt az idő előtti lebomlástól és ez által a növény asszimilációs tevékenysége intenzívebb. A réz a vassal együtt résztvesz a nitrátredukcióban.

### 9.3. A rézhiány és következményei

A hiányos Cu-ellátásra *legérzékenyebben* a zab, árpa és búza reagál. A Cu-hiány a gabonaféléknél a levélsúcsok fehéredésével kezdődik, keskeny összesodródott levelek képződnek. Az ilyen növényeknél hiányos buga, illetve kalászképződés figyelhető meg. Egyes esetekben a kalászok üresek. A szem nélküli kalászok aránya a réztartalom növekedésével csökken (37. ábra). A Cu-hiány tehát kedvezőtlenül hat a generatív szervek képződésére, ami termés kiesést eredményez. Újabban a növények Cu-ellátottságának jellemzésére a Cu/N hányadost használják mivel a Cu-tartalom erősen függ a növények korától.

37. ábra: A szem nélküli bugák aránya (%) és a zabszem Cu-tartalma (mg/kg) (Russ, 1958)

Kérdések:

1. Milyen tényezők határozzák meg a talajoldat Cu koncentrációját?
2. Milyen a Cu megoszlása a talajban, mi a sajátos eloszlás oka?
3. Milyen tényezők befolyásolják a növény Cu-felvételét, milyen az eloszlása a különböző növényi szervekben?
4. Mi a Cu szerepe az anyagcsere-folyamatokban, milyen enzimeket aktivál specifikusan?
5. Melyek a Cu-hiány jellemző tünetei és következményei?

## 10. A cink

A cink egyes enzimeket specifikusan, más enzimeket nem specifikusan aktivál. A peptidázok aktiválásán keresztül résztvesz a fehérjeanyagcserében. Az auxintermelés serkentése révén a Mn-nal kölcsönhatásban szabályozza a növények növekedését.

### 10.1 Cink a talajban

A Zn a Cu-hez hasonló tulajdonságokkal rendelkezik. A talajban kizárólag kétértékű formában található, a talaj adszorpciós komplexuma erősen megköti, koncentrációja a talajoldatban csekély, a  $H^+$ -ion koncentráció növekedtével oldhatósága növekszik, komplexképzési hajlama is a rézhez hasonló. A Zn a *biotit*, az *augit* és a különböző *csillámok* kristályrácsában is előfordul. A kolloidban gazdag talajokban általában több a Zn, mint a homokokban. Az adszorpciós komplexumhoz  $Zn^{2+}$ ,  $ZnOH^+$ , illetve  $ZnCl^+$  formájában kötődhet. Az így adszorbeált Zn-ionok csak részben cserélhetők ki. Különböző Zn-sók is előfordulhatnak a talajban, ezek oldhatósága változó. Sok foszfátot tartalmazó talajokban nehezen oldható Zn-foszfátok képződnek. A Zn mozgékonyasága a talajban csekély, a mozgékonyaság fokozódásával növekszik.

### 10.2. A cink felvétele, eloszlása és szerepe a növényben

A cinket a növények viszonylag kis mennyiségben veszik fel. A növények Zn-tartalma mégis többszöröse a Cu-tartalomnak (30. táblázat).

30. táblázat **Néhány növényi rész cinktartalma**

Növény	Zn-tartalom mg/kg
Füvek	25 – 35
Vöröshere	165
Fehérhere	36
Róz (szalma)	13
Búza (szalma)	24
Cukorrépa (levél)	160
Takarmányrépa (levél)	66

A Zn felvételét a gyakorlatban döntően a talaj kémhatása és foszfortartalma határozza meg (38. ábra). Feltételezik, hogy a bőséges foszforellátás a növényben is zavart okozhat, gátolja a Zn-igényes *karbohidráz* enzim működését.

A Zn a Mg-hoz és a Mn-hoz hasonló hatást fejt ki a növényi szervezetben. Néhány enzim, köztük az enoláz  $Mg^{2+}$ -,  $Mn^{2+}$ - és  $Zn^{2+}$ -ionokkal egyaránt aktiválható. A Zn azonban egyes enzimeket, így pl. különböző *dehidratázokat* és néhány *peptidázt* specifikusan aktivál.

38. ábra: A Zn-vegyületek oldhatósága a talajban (Amberger, 1983)

A Zn résztvesz a *N anyagcserében*, egyes szerzők szerint kihat az *RNS* szintézisre is. A Zn hiánya ennek következtében, esetenként a N-hiányhoz hasonlóan jelentkezik. A Zn közvetve elősegíti az *auxinképződést*, míg a Mn az auxinfelesleg kialakulását gátolja. A két elem együttesen szabályozza a növények növekedését.

### 10.3. A cinkhiány és következményei

A különböző kultúrnövények Zn igénye eltérő. *Nem érzékenyek* a Zn-hiányra a gabonafélék, így a zab, búza, árpa és rozs. Valamivel *érzékenyebbek*: a burgonya, paradicsom, cukorrépa, lucerna és vöröshere. *Érzékenyen reagálnak* a Zn-hiányra: a kukorica, komló, len és bab. Ugyancsak *érzékenyek* a különböző gyümölcsfélék és a szőlő. A *Zn-hiány* többnyire klorózis formájában figyelhető meg a fiatalabb levelek interkosztális részein. A levelek kicsinyek ("little leaf").

Kérdések:

1. Milyen formákban fordul elő a Zn a talajban?
2. Milyen talajtulajdonságok befolyásolják felvételét?
3. Milyen enzimeket aktivál a Zn és mi a szerepe az anyagcsere-folyamatokban?
4. Miben áll a Zn-Mn kölcsönhatás?
5. Melyek a Zn hiánytünetei, milyen kultúrák reagálnak érzékenyen a hiányra?

## 11. A molibdén

A molibdén katalitikus hatása a  $\text{Mo/V/} \rightleftharpoons \text{Mo/VI/}$  vegyértékváltozáson alapszik. Különböző enzimek fémkomponense, közülük legismertebbek a nitrogenáz és a nitrátreduktáz, melyek a növények N-ellátásában nélkülözhetetlenek.

### 11.1. Molibdén a talajban

A Mo a talajban főleg molibdenát ( $\text{MoO}_4^{2-}$ )-ion formában található, viselkedése ennek következtében lényegesen eltér a többi nehézfém (Fe, Mn, Cu, Zn) viselkedésétől. A molibdenátion a foszfáthoz hasonlóan (specifikus anionadszorpció) kötődik a talaj adszorpciós komplexumán. Ez a kötés annál erősebb, minél kisebb a talaj pH-ja. Emiatt a növények Mo-ellátása savanyú talajon veszélyeztetett, de meszezéssel javítható. A Mo különböző kristályok rácsában, továbbá Mo-szulfid, Ca-molibdenát és különböző Mo-oxidokban fordul elő. A talaj Mo-tartalmának egy része szerves kötésben van jelen. A szerves anyag lebomlása során a Mo szabaddá válik és így savanyú kémhatású talajban is biztosíthatja a növények Mo-ellátását.

A talaj *összes Mo-tartalma* rendkívül kicsi (0,5-10 mg/kg). Legkisebb a homokokban, viszonylag több fordul elő a vályog- illetve agyagtalajokban és a legtöbb a réti és láptalajokban.

A savanyú alapkőzeteken képződött talajok tartalmazzák a legtöbb Mo-t. A Mo-ben gazdag talajokon, mállás révén nagymennyiségű Mo válhat szabaddá, ami az állatokra nézve toxikus mértékű Mo felhalmozódáshoz vezethet a takarmánynövényekben.

### 11.2. A molibdén felvétele, eloszlása és szerepe a növényben

A növény a Mo-t molibdenátion formájában veszi fel. Felvételét a szulfátionok akadályozzák, a foszfátionok elősegítik. A növény a tápelemek közül a Mo-t veszi fel a legkisebb mennyiségben, a szárazanyag Mo-tartalma többnyire 1 ppm-nél kisebb. Sok Mo jelenléte esetén a növény a Mo-t lényegesen nagyobb mennyiségben is felveheti anélkül, hogy fejlődésére káros lenne, ebben eltér a többi nehézfém hatásától.

A Mo számos enzim fémkomponense. Legfontosabbak: a nitrátreduktáz és nitrogenáz, a hidrogenáz és aldehydoxidáz. A *nitrátreduktáz* a nitrátredukcióban, a *nitrogenáz* a szimbiotikus N-kötésben nélkülözhetetlen.

### 11.3. A molibdénhiány és következményei

Nem megfelelő Mo-ellátás esetén csökken a cukortartalom és az aszkorbinsav bioszintézise gátolt. A Mo-hiányos növényekben a klorofilltartalom kisebb és ennek megfelelően a fotoszintézis csökken, a N-hiányhoz hasonló tünetek, többek között gátolt növekedés figyelhető meg.

A Mo-hiány *jellemző tünetei*: a levelek szürkészöld színe, illetve a középső és idősebb leveleken fellépő nekrosis. A karfiolnál a levéllemezek képződése nem teljes. Előfordulhat, hogy csak a középső levélborda alakul ki (whip-tail = ostornyelbetegség).

Az egyes kultúrnövények Mo-igénye eltérő. A keresztesvirágúak és ezek közül a *káposztafélék* (karfiol, bimbós kel) több Mo-t igényelnek. A kétszikűek Mo-igénye nagyobb, mint az egyszikűeké. A pillangósok, illetve a pillangósok gümöbaktériumai is Mo-igényesek.

Kérdések

1. Mi szabja meg a Mo viselkedését a talajban, milyen formákban fordul elő?
2. Milyen tényezők szabják meg a Mo felvételét?
3. Milyen enzimek alkotórésze a Mo és mi ezek szerepe?
4. Melyek a Mo-hiány jellemző tünetei és elsősorban milyen kultúrákra jellemzőek?

## 12. A bór

A mikrotápelemek között a bór az egyetlen nemfémes elem. A bór szerepe sokrétű, de hatásmechanizmusa csak részben tisztázott. Elősegíti a tápelemfelvételt, a virág- és termésképzést, a szénhidrátok szállítását, felhalmozódását, a pozitív vízmérleget.

### 12.1. Bór a talajban

A B a talajban csillámokban és ásványokban fordul elő. Viszonylag nagy a *turmalin* B-tartalma. A szilikátok (glaukonit, muszkovit) Ca-borátokat tartalmaznak. A bór egy része a szerves vegyületek lebontása, illetve a mállásfolyamatok következtében bórsav ( $H_3BO_3$ ), illetve borátok formájában található. Előfordulhat a talajoldatban szabad anionként és a talajrészecskékhez kötve.

A borátionok a talajrészecskék felületén nem specifikusan kötődnek. A bór eltér a foszfát- vagy molibdenátionok specifikus kötődésétől, ezért a bór savanyú közegben jól felvehető. A kötődés laza, de kimutatható: minél nagyobb az agyagfrakció aránya a talajban, annál kisebb a vízzoldható bórtartalom az összes bórtartalomhoz képest. Meszezés hatására csökken a felvehető bór mennyisége a talajban.



## 12.2. A bór felvétele, eloszlása és szerepe a növényben

A B-t a növények borátion formájában veszik fel. A B mozgékonyága a növényben korlátozott. A gyökerekben általában nagyobb a B-tartalom, mint a hajtásokban és levelekben, a jó B-ellátás és a transzspiráció elősegíti a bór akropetális vándorlását.

A felvett B a vegetatív részekben halmozódik. Az egyszikűek *bórtartalma* és *bórigénye* kisebb, mint a kétszikűeké (31. táblázat). A túladagolás toxikus hatású.

31. táblázat **Különböző növényfajok B-tartalma (mg/kg szárazanyag) (Amberger, 1983)**

Növényfaj	mg/kg	Növényfaj	mg/kg
Árpa	2,3	borsó	21,7
Rozs	3,1	fehérmustár	22,2
Búza	3,3	sárgarépa	25,0
Kukorica	5,0	lucerna	25,0
Spenót	10,0	káposzta	37,1
Burgonya	13,9	rettek	64,5
Lóbab	15,4	répa	75,6
Paradicsom	15,0	mák	94,7

A B *életteni szerepét* tekintve alapvetően különbözik a többi mikrotápelemtől. Hatása a foszfáthoz hasonló. Alkoholos OH-csoportokkal, különösen cukrokkal bórsav-észtereket képez. A bór e sajátsága alapján hozzájárul a sejtfalak stabilitásának fokozásához.

A B is résztvesz az *auxinszintézis* szabályozásában. B-hiány esetén gátolt a sejtosztódás és akadályozott a kambiumsejtek fejlődése. Ennek következtében a gyökér és szállítószövetek kialakulása akadályozott.

Hiányában a *szénhidrát transzportban* támadnak zavarok. Az asszimiláció folyamán keletkezett szerves vegyületek szállítása lelassul és a levelekben szénhidrát halmozódik fel, ezzel szemben más szervekben szénhidráthiány alakul ki. A szénhidrátok felhalmozása következtében a fehérjeszintézis is lassúbbá válik, növekszik az oldható N-vegyületek mennyisége.

A jó B-ellátás elősegíti az *aktív ionfelvételt* a gyökerek jobb szénhidrátellátása révén, ezzel függ össze a *virág és a termés*képzés javulása is. A bórral jól ellátott növények vízhiány esetén a transzspiráció korlátozásával jobban tudnak a *vízzel gazdálkodni*, mint a bórhiányos növények. A B hatása a vízháztartásra ugyancsak a szervek differenciálódásával és a szénhidrátok eloszlásával magyarázható.

A virág- és termés képzésre gyakorolt hatása miatt a mikroelemek közül a bór befolyásolja legnagyobb mértékben a *termés mennyiségét*. A *termés minőségére* is kedvező hatású a jó bórellátás. A gyümölcsök és cukorrépa cukortartalmát, a burgonya keményítőtartalmát fokozza.

### 12.3. A bórhiány és következményei

Cukorrépánál bórhiány esetén a szív- és szárazrothadás figyelhető meg. A hiánybetegség gátolt gyökérnövekedéssel és a tenyészőcsúcs abnormális fejlődésével kezdődik, a levélnyél megvastagodik és törékennyé válik. A legfiatalabb levelek merev tartásúak és kezdetben mélyzöld illetve kékeszöld színűek. Később klorotikusokká válnak és a tenyészőcsúccsal együtt elhalnak. A nekrosis a répafej üregesedéséhez vezethet (szívrothadás).

A sejtfalak rugalmasságát biztosító B hiánya rideg, törékeny sejtfalakat eredményez a répatesten. A répa könnyen sérül, varasodás lép fel, nő a gombás és baktériumos fertőzések veszélye, romlik a tárolhatóság. A cukorrépára leírt hiánybetegség a takarmányrépára is jellemző, a varasodás az almánál is előfordul.

#### Kérdések

1. Milyen formákban található a bór a talajban?
2. Milyen talajtulajdonságok befolyásolják felvételét?
3. Milyen formában veszi fel a növény a B-t és hogyan épül be?
4. Milyen élettani folyamatokban vesz részt a bór és miként hat a termés mennyiségére illetve minőségére?
5. Melyek a B-hiány tünetei és következményei?

### III. MŰTRÁGYÁK

A *műtrágyák* a növények táplálására alkalmas anyagok, melyek a természetben előforduló nyersanyagokból (pl. a levegő nitrogénje, nyersfoszfátok, nyers kálisók) kémiai szintézissel, vagy átalakítással készülnek. A műtrágya megjelölés tehát csak az előállításukra utal, egyébként nem természetidegen anyagok.

A műtrágyákat, összetételük alapján, az alábbi csoportokba oszthatjuk:

*Egyszerű* műtrágyák, melyek a három fő tápelem közül csak egyet tartalmaznak, (N-, P- és K-trágyák). Ezeket egyedi műtrágyáknak is nevezik. *Összetett és kevert* műtrágyák, melyek legalább két, esetenként több tápelemet is tartalmaznak. Az *összetett* műtrágyák kémiai szintézissel készülnek, bennük a tápelemek azonos vegyületben vannak jelen (pl. ammónium-foszfátok). A kevert műtrágyákat egyszerű műtrágyák, vagy egyszerű és összetett műtrágyák keverésével állítják elő.

A műtrágyák *szilárd* vagy *folyékony* halmazállapotúak lehetnek. Megkülönböztetünk ezen kívül *makro-*, illetve *mikroelemtrágyákat* is. A több tápelemet tartalmazó műtrágyák megjelölésére használják a *komplex műtrágya* megnevezést is. Idetartoznak az összetett, kevert és tágabb értelemben a többkomponensű folyékony műtrágyák, valamint a makro- és mikroelemeket is tartalmazó műtrágyák.

#### 1. Nitrogénműtrágyák

A szilárd halmazállapotú nitrogénműtrágyák lehetnek: *ammóniumsók, fémnitrátok, amid nitrogént tartalmazó műtrágyák*. A felsorolt vegyületekből folyékony műtrágyák is készíthetők (1.5 fejezet).

##### 1.1. Ammóniumsók

Az ammóniumsókat ammóniából és különböző szervesetlen savakból állítják elő. Az előállításához felhasznált sav nagymértékben meghatározza a műtrágya tulajdonságait és felhasználási területét. Az ammóniumsók savanyítják a talajt, nitrifikációjuk során  $H^+$ -ionok képződnek a talajban. Az ammónium-szulfát és ammónium-klorid fiziológiás kémhatása is savanyú.

### 1.1.1. Ammónium-nitrát, $\text{NH}_4\text{NO}_3$

A legelterjedtebben használt nitrogénműtrágya. Előnyös tulajdonsága, hogy a nitrogént kb. fele-fele arányban ammónium-, illetve nitrátion formájában tartalmazza. A növény mindkét iont hasznosítja. *Alap- és fejtrágyaként* egyaránt használható.

Az ammónium-nitrát elméleti *N-tartalma* 35 %, az ipari termék hatóanyagtartalma  $34 \pm 0,3$  %.

Az ammónium-nitrát gyártása az alábbi kémiai reakción alapszik:



A reakció oldatban játszódik le, ebből a műtrágya *bepárlás* után *kristályosítással* nyerhető ki. A műtrágya minőségét, higroszkóposágát a hűtés sebessége határozza meg, mivel különböző kristálmódosulatok képződhetnek.

*Gyors hűtéssel* elérhető, hogy a kristályosodás folyamatában a kedvezőbb tulajdonságú  $\infty$ -rombos módosulat képződjön.

A kristályos terméket 0,5 % nedvességtartalom eléréséig szárítják. A szárítást a N-veszteség elkerülésére 75 °C alatt kell végrehajtani.

Az ammónium-nitrát higroszkóposága következtében vízfelvételre hajlamos, a műtrágyában átkristályosodás indul meg és a szemcsék összetapadnak. A tapadás csökkentésére a szemcséket védőréteggel vonják be.

A műtrágya 170 °C felett robbanásszerű hevességgel bomlik. A bomlást kloridionok és szerves anyagok katalizálják. A műtrágyát éppen ezért a tárolás során óvni kell a hőhatásoktól és attól, hogy szerves anyaggal (pl. szalma) érintkezzen. Az ammónium-nitrátot műanyag zsákokban hozzák forgalomba, ezekből legfeljebb 6 réteg helyezhető egymásra, mivel ütésre és nyomásra robbanhat. Az iparban robbanóanyagként is használják.

### 1.1.2. Mészammon-salétrom, $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$ (Pétisó, Agronit)

A mészammon-salétrom ammónium-nitrát és mészkőpor keveréke. A kalcium-karbonát hozzákeverése a következő előnyökkel jár:

- csökkenti a termék robbanási veszélyét (inert anyag),
- csökkenti a műtrágya higroszkóposágát,
- mérsékli a műtrágya savanyító hatását.

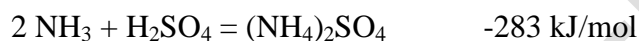
A műtrágyák hatóanyagtartalma az ammónium-nitrát és kalcium-karbonát *keverési arányától* függ. A Péti Nitrogénművek terméke a *Pétisó*, hatóanyagtartalma 25 %. Kazincbarcikán, a Borsodi Vegyikombinátban mészkő helyett dolomitot használtak adalékként. A műtrágyát *Agronit* néven hozták forgalomba. N-tartalma 28 %, Mg-tartalma 2 %.

A mészkőporral, dolomittal kiegészített műtrágyák tapadása kisebb, mint az ammónium-nitráté, mégis a készterméket mészkőliszttel, vagy kovafölddel puderezik. A mészammon-salétrom egyik legfontosabb N-műtrágyánk.

### 1.1.3. Ammónium-szulfát, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Az ammónium-szulfát felhasználása hazánkban és világszerte is nagymértékben csökkent. Savanyító hatása erősebb, mint az ammónium-nitráté, mivel a N teljes mennyisége ammóniumion formájában van jelen és fiziológiás kémhatása is savanyú. Használata csak lúgos kémhatású talajokon javasolható, alaptrágyaként.

Elméleti N-tartalma 21,1 %. A kereskedelmi termék 20-21 % N-t tartalmaz. Előállítás a következő reakcióegyenleten alapszik:



Szintetikus ammóniából és kénsavból gyártják. Az ammónium-szulfát tartalmú oldatot bepárolják, a műtrágyát kikristályosítják, szárítják.

## 1.2. Fémnitrátok

A műtrágyáknak ebbe a csoportjába a nátrium-nitrát és kalcium-nitrát tartozik. Viszonylag kisebb hatóanyagtartalmuk miatt gyártásuk és felhasználásuk erősen csökkent, pedig fiziológiásan lúgos kémhatásuk következtében—különösen savanyú talajokon—előnyösen használhatók. Fontos még a kálium-nitrát, melyet az összetett műtrágyák között tárgyalunk.

### 1.2.1. Nátrium-nitrát, $\text{NaNO}_3$

A nátrium-nitrát a *chilei salétromból* állítható elő, átkristályosítással. A termék általában 95-96 % nátrium-nitrátot tartalmaz, *N-tartalma* 16 %. A nátrium-nitrát vízben jól oldódó műtrágya. Egyes országokban a répafélék trágyázására alkalmazzák. Hazánkban nem használják.

### 1.2.2. Kalcium-nitrát, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

A műtrágya kalcium-karbonátból és salétromsavból az alábbi reakcióegyenlet szerint állítható elő:



Gyártását a századfordulón Norvégiában kezdték: a műtrágyát *Norge-salétrom* néven hozták forgalomba. A kalcium-nitrát változó kristályvíztartalommal kristályosodhat és ennek megfelelően N-tartalma változó:

	H <sub>2</sub> O %	N %
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	30,5	11,9
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O	24,8	12,9
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	18,0	14,0

*Hazánkban* a kalcium-nitrát a nyersfoszfátok salétromsavas feltárása során melléktermékként keletkezik. A vegyület *higroszkópos* és viszonylag *kis hatóanyagtartalma* miatt műtrágyaként nem használják. A kalcium-nitrát egyébként jó fejtrágya és talajtrágyaként alkalmazva is kedvező hatást fejt ki, különösen savanyú talajon.



### 1.3. Karbamid, C = O



A legkoncentráltabb szilárd N-műtrágya, N-tartalma 46,6 %. Tiszta állapotban fehér színű, higroszkópos vegyület. Vízben jól oldódik. Tulajdonságai lehetővé teszik, hogy talajtrágyaként és permetező trágyaként egyaránt felhasználjuk. A karbamidtermelés és felhasználás világszerte, valamint hazánkban is ugrásszerűen növekedett a 70-es és 80-as években.

A karbamidot napjainkban szinte kizárólag ammóniából és szén-dioxidból állítják elő ammónium-karbamáton keresztül:



A karbamidtartalmú oldatot bepárolják és a terméket *kristályosítják*. A bepárlást vákuumban 100 °C alatt végzik, ezzel elkerülhető a növényekre *mérgező biuret* képződése.

A *kristályos* karbamidot permetező trágyaként használják. Ha a karbamid oldatot légköri nyomáson 100 °C felett párolják be és szemcsézik biuret is képződik. A *szemcsézett* karbamidot talajtrágyaként használjuk. A hazai szabvány előírásai szerint maximálisan 1-1,5 % biurettartalom engedhető meg.

A karbamid is *higroszkópos*, de higroszkóposága kisebb, mint az ammónium-nitráté, vagy kalcium-nitráté. A szemcsés karbamid kevésbé higroszkópos, mint a kristályos. A műtrágyát több

rétegű papírzsákban, vagy műanyag zsákban hozzák forgalomba. Száraz helyen kell tárolni és a szemcsék összetapadásának elkerülésére a zsákok legfeljebb 6 rétegben helyezhetők egymásra.

#### **1.4. Lassan ható nitrogénműtrágyák**

A karbamidból különböző eljárásokkal lassan ható műtrágyák állíthatók elő. Az időben elhúzódó lassú hatás a termék oldhatóságának csökkentésével, illetve a talajban bekövetkező bomlásának, átalakulásának lassításával érhető el.

A lassan ható N-műtrágyák három fő csoportba oszthatók:

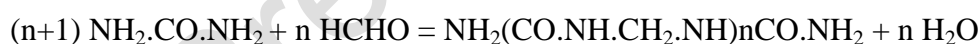
- karbamid-aldehid kondenzátumok
- bevonatos műtrágyák
- inhibitoros műtrágyák

##### **1.4.1. Karbamid-aldehid kondenzátumok**

Karbamidból, aldehidekkel, különböző kondenzációs vegyületek állíthatók elő. Ezek közül legelterjedtebb a *karbamid-formaldehid* kondenzátum, mely különböző márkaneven: *Ureaform*, *Nitroform*, *Formurin* stb. ismert. A termék oldhatósága alapvetően a karbamid-formaldehid arányától függ. Lassan ható műtrágyáknak azok a vegyületek alkalmasak, melyekben a karbamid-aldehid molarány egynél nagyobb. A kondenzációs reakció 2:1 arány esetén, a következő reakcióegyenlettel jellemezhető:

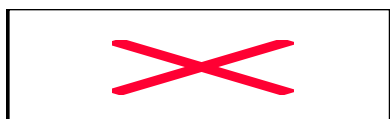


általánosságban:



Az *n* meghatározza a lánc hosszúságot, számértéke 1-10 között változhat. A termékek *oldhatósága* függ a képződött vegyület lánc hosszúságától, de a kondenzáció körülményeitől is. A terméknek legalább 38 % N-t kell tartalmaznia és ebből a hideg vízben oldhatatlan rész általában 23-27 % N.

A lassan ható N-műtrágyák oldhatósága az ún. *aktivitási* indexszel jellemezhető:



Nh % = hideg vízben oldhatatlan N tartalom

Nf % = forró vízben oldhatatlan N tartalom

Minél kisebb a forró vízben oldhatatlan rész, annál nagyobb lesz az aktivitási index. Kíváncos, hogy számértéke legalább 40 legyen. Az aktivitási index kedvező esetben megközelítheti a 100 %-ot.

A Budapesti Vegyiművekben *Formurin-Mg* néven állítottak elő karbamid-formaldehid kondenzátumot. A műtrágya N-tartalma 34 %, Mg-tartalma 1,2 %, aktivitási indexe legalább 45 %.

*Karbamid és izobutiraldehid* kondenzációjával előállítható az izobutilidén-dikarbamid (IBDU) műtrágya. Hatóanyagtartalma 32 % N. Fehér kristályos por, nem higroszkópos. Aktivitási indexe közel 100 %. *Karbamid és krotonaldehid* kondenzációjával krotonilidén-dikarbamid (CDU) műtrágya állítható elő.

A karbamid-aldehid alapú műtrágyák előállítása költséges, ezért még nem terjedtek el széles körben. Elsősorban a hazánknál csapadékosabb országokban használatosak, ahol a N-kimosódás veszélye nagy. Előnyösen használhatók virágkertészetben és az üvegházi termesztésben is, mivel N-szolgáltatásuk folyamatos, egyenletes és nagy adagjuk sem káros.

#### 1.4.2. Bevonatos műtrágyák

A karbamid oldhatósága csökkenthető a műtrágyaszemcsék bevonásával is. A bevonat nem csak a műtrágya oldhatóságát csökkenti, hanem fizikai tulajdonságait is javítja (az összetapadást gátolja). A bevonás következtében a műtrágya hatóanyagtartalma általában lényegesen kisebb, mint a tiszta karbamidé (30-36 % N).

A bevonat készülhet: kénnel, szervesetlen vegyületekkel, pl. magnézium-ammónium-foszfát réteg felvitelével, továbbá prafínnal és zsírsavakkal. Napjainkban különböző műanyag polimer bevonatokat is alkalmaznak. A bevonatot több rétegben alakítják ki a szemcsék felületén, esetenként adalékanyagokkal (ureáz inhibitor!) kombinálva.

A bevonattal szemben támasztott követelmény, hogy az oldódást lassítsa, de ugyanakkor a víz és az oldott részek diffúzióját lehetővé tegye. A műtrágyaszemcsébe diffundáló víz hatására a karbamid oldódik, majd a talajoldathoz képest fennálló koncentráció különbség következtében kidiffundál. Később a hidrosztatikai nyomás hatására a szemcse felduzzad, és a pórusok kitágulnak, végül a bevonat lebomlik.

#### 1.4.3. Inhibitoros műtrágyák

A karbamid *hidrolízise* (bomlása) a talajban ureáz-inhibitorok segítségével, az ammónia átalakulása nitrifikáció-gátlókkal lassítható.



A karbamid bomlását elősegítő ureáz enzimaktivitás csökkenthető pl. kis mennyiségű réz-ditiokarbamát hozzákeverésével. A karbamid hidrolízisének gátlására ismert különböző anyagok azonban nem terjedtek el.

A nitrifikáció-gátlókat ezzel szemben a gyakorlatban is használják. *N-Serve* néven vált ismertté a 2-klór-6-(triklórmetil)-piridin. Az *N-Serve* használata főleg a rizstermesztő országokban, így Japánban és Indiában terjed el. Felhasználható a karbamidon kívül cseppfolyós ammóniával is.

A másik nitrifikációs inhibitor a 2-amino-4-klór-6-metil-pirimidin, melyet Japánban *AM* néven forgalmaznak.

Régen ismert a *dicián-diamid* nitrifikációt gátló hatása. A vegyületet műtrágya és hígtrágya adalékként is használják.

A *nitrifikációgátlók* segítségével csökkenthető a karbamid, a cseppfolyós ammónia, más folyékony N-trágya, és a hígtrágyák nagy adagjának környezetszennyező hatása.

### **1.5. Folyékony N-műtrágyák**

A folyékony műtrágyák előállíthatók iparilag, illetve a mezőgazdasági üzemben.

*A folyékony műtrágyákkal szemben támasztott követelmények:*

- nagy hatóanyagtartalom
- alacsony kristályosodási hőmérséklet
- megfelelő hatóanyag arányok az NP, illetve NPK oldatok esetében

Az oldatok koncentrációjának határt szab a felhasznált vegyületek oldhatósága, mely a hőmérséklettől is függ. Az alacsony kristályosodási hőmérséklet azért szükséges, hogy ne lépjen fel anyagkiválás a hőmérsékletcsökkenés hatására.

A folyékony N-műtrágyákhoz a cseppfolyós ammónia, a vizes ammónia, a dúsított amónia oldatok, valamint a karbamid-ammónium-nitrát oldatok tartoznak.

#### **1.5.1. Cseppfolyós ammónia**

A cseppfolyós ammónia 82,2 % N-t tartalmaz. Gőznyomása nagy és rohamosan növekszik a hőmérséklet emelkedésével, emiatt tárolása és szállítása csak nyomásálló tartályokban történhet.

Műtrágyaként való közvetlen felhasználása a II. világháború után indult meg. Gyorsan párolog, ezért talajba juttatásához speciális berendezések szükségesek. A berendezés többnyire talajhasító késből, injektáló berendezésből és takarószerkezetből áll. Így a párolgási veszteségek minimálisra

csökkenthető. A folyékony ammónia nem korrozív tulajdonságú, ezért vasedényzetben tárolható, szállítható.

#### 1.5.2. Vizes ammónia, ammóniakátok

Az ammóniát vizes oldatban is használják, a gőztenzió ez esetben kisebb, de az oldat csak mintegy 25 %  $\text{NH}_3$ -t, illetve 20 % N-t tartalmaz. Ezért N-tartalmát oldható ammóniumsók és karbamid hozzáadásával növelik. A dúsított ammóniaoldatokat *ammóniakátoknak* nevezzük. N-tartalmuk 40-50 % között ingadozik.

Az *ammóniakátok* előnye a cseppfolyós ammóniával szemben, hogy gőznyomásuk általában kicsi. Hátrányuk, hogy korrozív tulajdonságúak. A korrozív hatás annál nagyobb, minél több ammónium-nitrátot tartalmaznak és annál kisebb mértékű minél több a karbamid, illetve az ammónia részaránya. Szállításukra, tárolásukra rozsdamentes acél, vagy tiszta alumínium tartályok, illetve műanyag- és üvegrost bevonatú tartályok használhatók. A vizes ammónia és ammóniakátok felhasználása egyre inkább háttérbe szorul.

#### 1.5.3. Karbamid-ammónium-nitrát (UAN) oldatok

Felhasználásuk külföldön és hazánkban is széles körben elterjedt. A karbamid és ammónium-nitrát oldatok szabad ammóniát nem tartalmaznak, ezért nincs számottevő gőznyomásuk. Általában a két vegyület oldatának elegyét használják műtrágyaként, mivel így töményebb oldat készíthető, mint külön-külön. Karbamidból és ammónium-nitrátból 28-32 %-os oldat készíthető, melynek jellemző adatait a 32. táblázatban mutatjuk be.

32. táblázat **Karbamid–ammónium-nitrát (UAN) oldatok jellemzői**

Összes N %	$\text{NH}_4\text{NO}_3$ %	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ %	$\text{H}_2\text{O}$ %	Kristályosodási hőmérséklet, °C	Sűrűség (15 °C)
32	44,3	35,4	20,3	0	1,33
30	42,2	32,7	25,1	-10	1,30
28	38,8	31,0	30,2	-18	1,28

Az oldatokat az *urea ammónium-nitrát* megnevezés rövidítése alapján UAN oldatoknak is nevezik. Hatóanyagtartalmuk kisebb, mint az ammóniakátoké, de jól használhatók folyékony N-műtrágyaként. Korrozív tulajdonságúak. Előállításuk igen egyszerű. Vagy a két sót oldják megfelelő arányban, vagy az ammónium-nitrát és a karbamidüzemben előállított forró tömény oldatokat elegyítik, szükség szerint hígítják.

A Borsodi Vegyi Kombinát *Hidronit 30*, a Péti Nitrogénművek *Nitrosol 28* megjelöléssel készít karbamid és ammónium-nitrát tartalmú oldatot. A nitrogénműtrágyák összetételét és hatóanyag-tartalmát a 33. táblázatban foglaltuk össze.

33. táblázat **Nitrogénműtrágyák összetétele és hatóanyag-tartalma**

Műtrágya	Összetétel	N %
<i>Ammónium sók</i>		
Ammónium -nitrát	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	34
Mészammon-salétrom	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$	
Péti só	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$	25
Agronit	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	28
Ammónium-szulfát	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21
<i>Fémnitrátok</i>		
Kálium-nitrát	$\text{KNO}_3$	13
Nátrium-nitrát	$\text{NaNO}_3$	16
Kalcium-nitrát	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	12
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	13
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	14
<i>Karbamid és származékai</i>		
Karbamid	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	46
Formurin-Mg	formaldehid kondenzátum	34
IBDU	izobutilaldehid kond.	32
CDU	krotonaldehid kond.	30
Bevonatos karbamid	változó bevonattal	30-36
Paramid	paraffin-zsír-sav bevonat	41
<i>Folyékony N-műtrágyák</i>		
Cseppfolyós ammónia	$\text{NH}_3$	82
Ammónia vizes oldata	$\text{NH}_3$	20
Ammóniakátok	$\text{NH}_3, \text{NH}_4\text{NO}_3, \text{CO}(\text{NH}_2)_2$	41-49
Hidronit 30	$\text{NH}_4\text{NO}_3, \text{CO}(\text{NH}_2)_2$	30
Nitrosol 28	$\text{NH}_4\text{NO}_3, \text{CO}(\text{NH}_2)_2$	28

#### Kérdések

1. Mi jellemzi az egyszerű műtrágyákat?
2. Milyen csoportokba sorolhatók a N-műtrágyák?
3. Jellemezze az ammóniumsókat! (Hatóanyag-tartalom, talaj kémhatására gyakorolt hatás, higroszkóposság, az előállítás hatása a műtrágya tulajdonságaira, felhasználásuk.)
4. Milyen tulajdonságokkal rendelkezik a nátrium-nitrát, kalcium-nitrát?
5. Miben különbözik a szemcsés és kristályos karbamid? Felhasználásuk.

6. Melyek a lassan ható N-műtrágyák csoportjai?
7. Milyen karbamid – aldehid kondenzátumokat ismer?
8. Mit fejez ki az aktivitási index?
9. Milyen bevonatos műtrágyákat ismer?
10. Mi az inhibitorok szerepe az inhibitoros műtrágyákban?
11. Melyek a folyékony műtrágyák alkalmazásának előnyei és hátrányai?
12. Milyen követelményeket támasztunk a folyékony műtrágyákkal szemben?
13. Milyen N-tartalmú folyékony műtrágyákat ismer, alkalmazásuk lehetőségei?

## 1.6. Nitrogéntrágyázás

A nitrogéntrágyák növelik legnagyobb mértékben a termést, *optimális* adagban alkalmazva javítják a minőséget, túladagolásuk azonban számos veszélyt rejt magában, kárt okozhat. *A szükségesnél nagyobb mennyiségű* N termésdepressziót, káros nitrátfelhalmozódást okoz, rontja egyes termékek (pl. cukorrépa, napraforgó) minőségét, és a tárolhatóságot. A felesleg fokozza a kultúrák gombabetegségekkel szembeni fogékonyságát. A talajban felhalmozódó  $\text{NO}_3\text{-N}$  kimosódik és szennyezi a természetes környezetet.

Az említett kedvezőtlen hatások a N-műtrágyák adagjának gondos megállapítását kívánják meg. A helyes adagok megválasztását nehezíti, hogy a talajból mobilizálódó készletek csak közelítő pontossággal becsülhetők, mivel az időjárástól függenek.

### 1.6.1. A műtrágyák kiválasztása

Az *ammóniumsók* és a *karbamid* savanyítják a talajt, savanyító hatásuk eltérő mértékű. Ezért savanyú és savanyodásra hajlamos–kis pufferkapacitású–talajokon kerülni kell az ammóniumsók (különösen az ammónium-szulfát) használatát, ugyanis az ammóniumsók nitrifikációja és savanyú fiziológiás kémhatása fokozza a savanyúságot. Előnyben kell részesíteni a kalcium-karbonát, illetve dolomittartalmú mészammon-salétromot, mivel e műtrágyák adaléka mérsékli savanyító hatásukat.

Hazánkban az ammónium-nitrátot, a Pétisót és az Agronitot használják a legnagyobb mennyiségben. Az ammónium-nitrát *alap- és fejtrágyázásra* egyaránt alkalmas. A gabonák tavaszi fejtrágyázásánál előnye más műtrágyákkal szemben, hogy jól és gyorsan hasznosul. Az ammónium-szulfátot általában csak a rizs műtrágyázására használják. A dolomittartalmú Agronit használata a Mg-pótlás szempontjából csak a Mg-szegény savanyú talajokon indokolt, a réti és szikes talajokon nem.

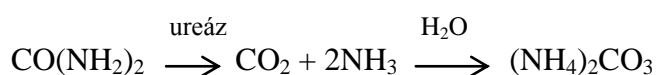
Az elmúlt évtizedekben jelentősen növekedett a karbamid felhasználása, mely talaj- és permetező trágyaként, továbbá folyékony műtrágyák N-komponenseként egyaránt használható.

### A karbamid alkalmazásának előnyei

- A műtrágya szállítási, raktározási és kiszórási költsége kisebb, mint az egyenértékű pécisóé vagy ammónium-nitráté.
- A növények levélen keresztül is képesek hasznosítani. Vizes oldata kevésbé perzseli a növényeket, mint más nitrogénműtrágyák azonos hatóanyagú oldata.
- Különböző növényvédő szerekkel együtt is kipermetezhető. Így a kijuttatás esetenként nem jelent többletköltséget; az öntözővízbe is adagolható.
- Kémiaiilag semleges anyag, ezért a műtrágyaszóró és permetező berendezéseket sem szilárd, sem oldat formában nem károsítja; repülőgépről is jól szórható.

A kedvező tulajdonságok ellenére a karbamid *káros* hatású lehet, ha nem tartjuk be használatának szabályait. A káros hatások a műtrágya tulajdonságainak ismeretében kiküszöbölhetők.

A karbamid a *talajban* az ureáz enzim hatására gyorsan átalakul:



Az átalakulás sebessége a hőmérséklet, nedvességtartalom, levegőözöntség függvénye. Az ureáztermelő mikroorganizmusok *aerob* szervezetek. Száraz és levegőtlen talajban a karbamid átalakulása vontatott. Jó szerkezetű talajokon az átalakulás általában néhány nap alatt végbemegy. Az ammónium-karbonát disszociál, az  $\text{NH}_4^+$  ionok levegős talajon gyorsan nitrifikálódnak.

### A karbamid alkalmazásának szabályai

1. A karbamidot kiszórás után azonnal be kell munkálni a talajba, mert a bomlás a talaj felszínén is megindul és N-veszteséget okozhat.
2. A karbamidot egy-két héttel a vetés előtt kell kijuttatni, ugyanis a lebomlás során képződő ammónia–különösen nagy adagok esetén–csírázásgátló hatást fejthet ki.

A vetés előtti kijuttatás azért is indokolt, mivel a karbamidból a talajoldatban *ammónium-cianát* képződhet.

Az ammónium-cianát már kis mennyiségben is mérgező a növényre. A karbamid bomlásával egyidejűleg az ammónium-cianát visszaalakul karbamiddá, majd ammóniára és szén-dioxidra bomlik. Az ammónium-cianát mérgező hatását a legtöbb növényben jelenlévő *cianáz enzim* is csökkenti, mely a cianátokat bontja.

A karbamidot nagy adagban alkalmazva a képződő ammónia gátolhatja a nitrifikáló baktériumok tevékenységét. A talajban átmenetileg *nitritionok* halmozódhatnak fel, ami ugyancsak káros. Az eddigi hazai összehasonlító kísérletek tapasztalatai szerint a karbamidműtrágya 100-150 kg N/ha adagja egyenértékű más N-műtrágyák hatásával.

A karbamidot talajtrágyaként használva gáz alakú *ammóniaveszteség* is felléphet. Meszes, szerves anyagban szegény, laza homoktalajon nagyobb a veszteség, mint a savanyú, szerves anyagban gazdag, kötött talajokon, melyek az ammóniát megkötik.

A karbamid is *savanyítja* a talajt. A lebomlási folyamatban képződő ammónium-karbonát ugyan átmenetileg lúgosít, de az ammóniumionok nitrifikációja hidrogénion termeléssel jár, vagyis savanyít.

Talajtrágyaként *szemcsés* karbamidot, permetező trágyaként lehetőleg biuretszegény, *kristályos* karbamidot használjunk. A karbamidot széles körben használják *permetező trágyázásra*. A permetező trágyázás nem helyettesítheti a N-ellátásban a talajtrágyázást, de hasznosan kiegészítheti azt. Elsősorban a minőség javítása érdekében használják kiegészítő trágyaként.

A különböző növényfajok *koncentráció tűrőképessége* eltérő, ezért az egyes kultúráknál más-más koncentrációjú karbamidoldatot kell használni. A *zöldségfélék* legnagyobb része csak 1 % alatti oldatokkal permetezhető, a *gyümölcsfélék* általában 1 %-os oldattal, míg a *burgonya* és *cukorrépa* 5 %-os és a *gabonafélék* 10-15 %-os oldattal is károsodás nélkül permetezhetők.

A növények koncentráció tűrése a *permetfinomságtól* is függ. Ködszerű porlasztás esetén a karbamid oldat a megadottnál nagyobb koncentráció esetén sem idéz elő perzselést, illetve nektrózt a növények levelein.

Hazánkban folyékony műtrágyák közül a *cseppfolyós ammónia* felhasználása nem jelentős, a *karbamid* és *ammónium-nitrát* (UAN) oldatokat használják nagyobb arányban. A nagy töménységű folyékony műtrágyák kizárólag talajtrágyaként használhatók. A kimosódási N-veszteség elkerülésére javasolható a nitrifikáció gátlók, pl. az N-Serve alkalmazása.

A *N-műtrágya adagok nagysága* elsősorban a növényfaj N-igényétől és a talaj N-háztartásától függ. Utóbbit a mikroorganizmus tevékenység, az elővetemény és a kimosódási veszteségek határozzák meg. Az egyes növényfajok N-igényének jellemzésére—a pillangósokat kivéve—jól használható a terméssel kivont N-mennyiség.

A növények N-szükségletét talajtrágyákkal kell pótolni. A permetező trágyázás csak kiegészítő trágyaként jön számításba. Fontos, hogy az N-ellátása folyamatos legyen, vagyis a vegetációs periódus minden szakaszában megfelelő N álljon rendelkezésre. Száraz időben, permetező trágyázással pótolható a növény aktuális igénye. Gabonánál a N-adagot többnyire megosztva, őszi alaptrágyaként, tavaszi fejtrágyaként és esetenként később alkalmazott kiegészítő N-trágyaként adják. A N-adagok megosztása csökkenti a dőlésveszélyt, és kedvező hatással van a termés minőségére. A környezetszennyezés elkerülésére az *őszi* adagot *minimálisra* kell csökkenteni.

## Kérdések

1. Melyek a N-műtrágyázás kedvező és kedvezőtlen hatásai?
2. Hogyan küszöbölhetők ki a kedvezőtlen hatások?
3. Milyen műtrágyákat használunk alaptrágyázáshoz, fejtrágyázáshoz, illetve permetező trágyázáshoz?
4. Mire kell ügyelnünk a karbamid talajtrágyaként való felhasználásakor?
5. Milyen töménységben használható a karbamid permetező trágyázásra? Különböző növényfajok tűrőképessége!
6. Milyen folyékony N-műtrágyákat ismer, miért válhat szükségessé a nitrifikáció-gátlók alkalmazása?
7. Mi szabja meg alapvetően a N-műtrágyaadagok nagyságát és mire kell ügyelni a kijuttatás során?

## 2. Foszfórműtrágyák

Az első foszfórműtrágyát Liebig javaslatára *csontlisztből*, kénsavas feltárással állították elő 1840-ben. A csontliszt, mint nyersanyag rövid idő alatt kevésnek bizonyult és megindult a kutatás egyéb források a természetes előfordulású, úgynevezett *nyersfoszfátok* felkutatására. Ebben az időben alakult ki az a szokás, hogy a nyersanyagok és a műtrágyák hatóanyagtartalmát  $P_2O_5$  %-ban fejezzék ki. Ez a hatóanyagtartalom megjelölés a műtrágyaiparban és a mezőgazdasági gyakorlatban mind a mai napig megmaradt, bár *helytelen*, hiszen a nyersanyagok és a műtrágyák sem tartalmazznak foszfor-pentoxidot ( $1\% P_2O_5 = 0,44\% P$ ).

### 2.1. A foszfórműtrágyák nyersanyagai

A nyersfoszfátok különböző *apatitokból* állnak, melyek közös jellemzője a nehezen bontható apatitstruktúra:

$Ca_5(PO_4)_3F$	fluorapatit
$Ca_5(PO_4)_3OH$	hidroxiapatit
$Ca_5(PO_4)_3Cl$	klórapatit

Az apatitok két nagy csoportba oszthatók:

- a) *Primer eredetű apatitok*, melyek kristályos szerkezete szabad szemmel, vagy mikroszkóppal felismerhető. A legtöbb *magmatikus kőzetben* primer ásványként fordulnak elő, mint pl. a fluorapatit a Kola félszigeten. A klórapatit legfontosabb lelőhelyei Norvégia, Svédország, Kanada.
- b) *Szekunder eredetű apatitok*, más néven foszforitok, melyekre a mikrokristályos szerkezet jellemző. Tengeri üledékek, melyek a foszforvegyületeken kívül kalcium-karbonátot, homokot és agyagot tartalmaznak. A foszforitokat esetenként közvetlenül is felhasználják trágyázási

célokra. A hasznosulás mértéke függ az őrlés finomságától és az ásvány geológiai korától. Minél korábbi geológiai korból származik az ásvány, annál durvább kristályos szerkezet jellemzi és annál kevésbé oldható.

Hazánkban korábban *Hiperfoszfát* néven finomra őrölt afrikai nyersfoszfátot hoztak forgalomba. A Szovjetunióból *Kingissep-i* foszfátot importáltunk. A nyersfoszfátok csak savanyú talajon használhatók eredményesen és elsősorban a gyengén ellátott talajok feltöltésére alkalmasak.

A *foszforműtrágya-gyártás* célja a nehezen oldható foszforvegyületek átalakítása vízben, vagy gyenge savakban oldható vegyületekké. A nyersfoszfátok *savas feltárással*, vagy *hőkezeléssel* alakíthatók át oldható foszfátokká, savfelesleg hatására foszforsav keletkezik. Ennek megfelelően az alábbi eljárásokat, illetve termékeket különböztetjük meg:

kénsavas feltárás	- szuperfoszfát (foszforsav)
foszforsavas feltárás	- hármas szuperfoszfát
salétromsavas feltárás	- nitrofoszfátok (foszforsav)
termikus feltárás	- termofoszfátok

A nyersfoszfátokat feldolgozás előtt aprítják, majd durva és finom őrlésnek vetik alá.

## 2.2. A kénsavas feltárás, szuperfoszfát

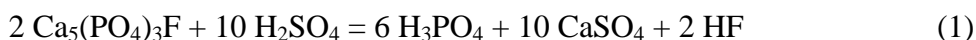
A szuperfoszfát a legelterjedtebben használt foszforműtrágya. A foszfort vízoldható monokalcium-foszfát, illetve változó mennyiségű szabad foszforsav alakjában tartalmazza. A magyar szabvány a következő minőségi előírásokat rögzíti az őrölt és granulált szuperfoszfátra:

Alkotórészek	Őrölt	Granulált
Vízben oldható rész ( $P_2O_5$ %)	$17 \pm 0,4$	$17,5 \pm 0,4$
Szabad savtartalom ( $P_2O_5$ %) legf.	5,5	4,5
Nedvességtartalom (%) legfeljebb	15,0	12,0

A szuperfoszfát-gyártás bruttó egyenlete:



A reakció két lépcsőben játszódik le:



A feltárás folyamatában az (1)-es reakcióegyenlet szerint foszforsav képződik és ez a foszforsav reagál a (2)-es reakció szerint a még jelenlévő nyersfoszfáttal. A foszforsav képződése viszonylag



gyorsan lejátszódó folyamat, míg az ezt követő reakció napokig eltarthat. Ez teszi szükségessé a szuperfoszfát ún. *utófeltárását*, melyet 30 napos tárolással oldanak meg. A hosszú reakció idők azzal magyarázhatók, hogy a reakció egyik kiinduló anyaga, a nyersfoszfát szilárd fázisban van jelen.

Az utófeltárás a termék *minősége* szempontjából meghatározó. Amennyiben a (2)-es reakció nem játszódik le teljes mértékben a műtrágya szabad sav és feltáratlan nyersfoszfát tartalma nagyobb a megengedettnél.

A nagy szabad savtartalom a felhasználás szempontjából nem előnyös. Az ilyen műtrágya rossz fizikai tulajdonságokkal rendelkezik, *higroszkópos*, ezen kívül savkárokat idézhet elő az alkalmazás során.

A reakciót általában úgy vezetik, hogy a végén 2-3 % szabad sav maradjon, ami azért szükséges, mert ennél kisebb savtartalom esetén *foszfát reverzió* játszódik le. A foszfát reverzió lényege, hogy a nyersfoszfátokban jelenlévő Fe- és Al-vegyületek reakcióba lépnek a vízdoldható monokalciumpfoszfáttal, oldhatatlan Fe- és Al-foszfátok képződnek.

Az érlelt szuperfoszfát is tartalmaz szabad savat, ezért tapadásra, csomósodásra hajlamos. A műtrágya fizikai tulajdonságai javíthatók a higroszkóposságot előidéző szabad savtartalom megkötésével. Erre a célra különböző bázisos anyagokat használnak pl: mészkő, dolomit. A szabad sav leköthető ammóniával is (lásd ammonizált szuperfoszfát).

A műtrágya fizikai tulajdonságai *szemcsézés* (granulálással) is javíthatók. A granulált áru nedvességtartalma kisebb, és így P-tartalma nagyobb, mint a poralakú szuperfoszfáté. A granulált szuperfoszfát használata könnyebb kezelhetőségén kívül egyéb előnyökkel is jár:

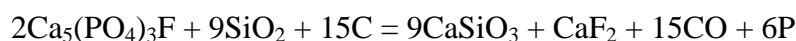
- Az őrölt szuperfoszfát vízdoldható monokalciumpfoszfát tartalma gyorsan oldódik, könnyen lekötődik, átalakul.
- A granulátumok foszfortartalma lassabban oldódik, így a lekötődés lassabb. A granulált műtrágya könnyebben kiszórható és a növények foszforellátását jól biztosítja.

### **2.3. Nyersfoszfátok feltárása foszforsavval**

A foszforsavas feltárás célja gipszmentes, vagy gipszszegény monokalciumpfoszfát előállítása a szuperfoszfátnál nagyobb hatóanyagtartalommal. A tisztán foszforsavval előállított műtrágya *hármasszuperfoszfát* (triple szuperfoszfát) néven kerül forgalomba. A foszforsav-kénsav feltárással eleggyel előállított műtrágyákat *dúsított szuperfoszfátnak* nevezik. Az említett műtrágyák előállításához foszforsavra van szükség. A foszforsav előállítható termikus és extrakciós eljárással.

### 2.3.1. Termofoszforsav

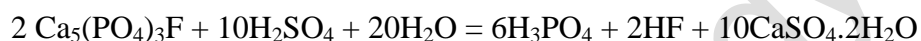
Az *elektrotermikus* eljárással a nyersfoszfátot koksszal, kvarccal (homok) keverve elektromos kemencében 1400-1600 °C-ra hevítik. A magas hőmérsékleten a következő redukciós folyamat megy végbe:



A foszforsav előállításához a kemencéből távozó P-gőzt közvetlenül, vagy cseppfolyósítás után oxidálják, majd vízben nyeletik el. A cseppfolyósított P-ból igen nagy töménységű (80-85 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) és nagy tisztaságú foszforsav állítható elő (szuperfoszforsav).

### 2.3.2. Extrakciós foszforsav

A nyersfoszfátok kénsavval foszforsavvá alakíthatók, a foszforsav a reakcióban képződő gipsztől ülepítéssel, vagy szűréssel elválasztható.



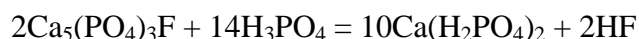
Az extrakciós foszforsav részben hidrogén-sziliko-fluoriddal, részben vassal és alumíniummal szennyezett. Az oldat bepárlásával a P-tartalom 37-50 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ -ig növelhető.

### 2.3.3. Szuperfoszforsav

A szuperfoszforsav P-tartalma 75 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  felett van. A szuperfoszforsav orto-, piro- és meta-foszforsavból áll. A kereskedelemben forgalmazott tömény foszforsav P-tartalma kb. 60 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  és csak orto-foszforsavat tartalmaz. A szuperfoszforsavat folyékony műtrágyák előállítására használják.

### 2.3.4. Hármasszuperfoszfát

Ha a nyersfoszfát feltárásához kénsav helyett foszforsavat használnak, gipszmentes, monokalcium-foszfát képződik, melyet *hármasszuperfoszfát* néven forgalmaznak. Vízoldható P-tartalma a nyersfoszfát minőségétől függően 42-52 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ , tehát két-háromszorosa a normál szuperfoszfát P-tartalmának. A gyártás alapegyenlete:



A hármasszuperfoszfát P-tartalmának 30 %-a származik a nyersfoszfátból és 70 %-a a feltáró savból. A feltáráshoz többnyire extrakciós foszforsavat használnak. A hármasszuperfoszfát előállítása költséges, mivel előbb foszforsavat kell előállítani, majd ezzel a nyersfoszfátot feltárni. A gyártás volumene világviszonylatban növekszik. A műtrágya fizikai tulajdonságai kedvezőek, nem higroszkópos, nem csomósodik, tehát könnyen szórható. A nagy hatóanyagtartalom

következtében kisebbek a műtrágya szállítási és tárolási költségei, ebből következően a felhasználás költségei is.

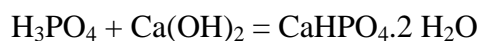
A foszforsavas feltárás lassúbb, a hármas szuperfoszfát utóérése éppen ezért 30-70 nap, szemcsézve forgalmazzák.

#### **2.3.5. Dúsított szuperfoszfát**

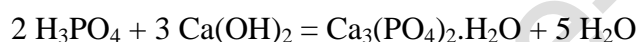
Mindazokat a műtrágyákat, melyeket kénsav-foszforsav eleggyel állítanak elő, dúsított szuperfoszfátnak nevezzük. E műtrágyák P-tartalma 18-46 %  $P_2O_5$  között ingadozik, a feltáráshoz használt savelegy keverési arányától függően. A műtrágya hatóanyagtartalma annál nagyobb, minél több foszforsav van a feltáró savelegyben. A P-tartalom növekedésével párhuzamosan csökken a gipsztartalom.

#### **2.4. Dikalcium-foszfát**

Előállítható foszforsavból, illetve foszforsavtartalmú oldatokból az alábbi reakciógyenlet szerint:



A mésztejet pontosan kell adagolni, mert felesleg esetén oldhatatlan trikalcium-foszfát képződik:



A dikalcium-foszfát vízben nem oldható, 30 % citrátoldható hatóanyagot tartalmaz. A műtrágya használata csak savanyú talajon javasolható.

#### **2.5. Termofoszfátok**

A nyersfoszfátokra jellemző apatitstruktúra hőkezeléssel is megbontható. A hőkezelést többnyire bázikus adalékok jelenlétében hajtják végre. A termikus úton előállított foszfátokat gyűjtőnéven *termofoszfátoknak* nevezzük. A termofoszfátok a foszfor nagy részét citrátoldható formában tartalmazzák.

#### **2.6. Thomas salak**

Az acélgyártás mellékterméke. A Thomas eljárásban a nyersvas széntartalmát oxidációval távolítják el. A folyékony nyersvasat az előzőleg felizzított, bázikus bélésű konverterbe öntik és levegő átfúvással oxidálják.

A levegő oxigénje először a szilíciumot, mangánt és szenet, majd a foszfort is oxidálja. A keletkező foszfor-pentaoxid megkötésére égetett meszet, vagy dolomitot adagolnak a konverterbe. A reakcióban változó összetételű *kalcium-foszfátok*, *kalcium-szilikátok* és ezek kettős sója keletkezik.

A *Thomas salak* foszfortartalmának nagy része (75-90 %) citromsavoldható, ez teszi lehetővé trágyaként való felhasználását. Összetétele a kiinduló anyagoktól függően változó, az alkotórészek százalékos mennyisége:

	%		%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	14-20	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-6
CaO	45-50	MgO	2-6
SiO <sub>2</sub>	6-8	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1-2
FeO	5-6	Ti, V, Cr, S, Cu, Mn nyomokban	

A Thomas salakot finomra őrölve savanyú talajon célszerű felhasználni, mivel lugos közegben nem oldódik. A savanyú talajon nagy Ca-tartalma is kedvező hatású. Mg, Mn, Cu tartalma is hasznos lehet. Külföldön széles körben használják P-trágyaként. Hazánkban a műtrágya árának növekedésével kerül újra előtérbe az ipari melléktermékek mezőgazdasági hasznosítása.

A foszforműtrágyák összetételét és hatóanyag-tartalmát a 34. táblázat tartalmazza.

34. táblázat **Foszforműtrágyák kémiai összetétele és hatóanyag-tartalma**

Műtrágya	Összetétel	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %
Szuperfoszfát	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> + CaSO <sub>4</sub>	17-18
Triple szuperfoszfát	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	42-52
Dúsított szuperfoszfát	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> + CaSO <sub>4</sub>	18-46
Dikalcium-foszfát	CaHPO <sub>4</sub>	30
Thomas salak	változó	14-20

#### Kérdések

1. Melyek a foszforműtrágyázás nyersanyagai?
2. Mi a feltárás célja, milyen eljárásokat ismer?
3. Hogyan hat az utófeltárás a szuperfoszfát minőségére?
4. Mikor következik be foszfátreverzió?
5. Mi a szemcsés szuperfoszfát előnye az őrölt szuperfoszfáttal szemben?
6. Hogyan állíthatunk elő foszforsavat?
7. Melyek a foszforsavas feltárás termékei?
8. Milyen tulajdonságokkal rendelkezik a dikalcium-foszfát?
9. Milyen termikus feltárási módokat ismer? Jellemezze a termékeket!
10. Hogyan keletkezik a Thomas salak, milyen célra használható?

## 2.7. Foszfortrágyázás

A P elősegíti a virág és magképződést, javítja a minőséget. A foszfortrágyázás növeli a talaj termékenységet, csökkenti a termésingadozást (39. ábra).

39. ábra: A termés mennyisége és ingadozása különböző P-ellátottságú talajokon (Buchner és Sturm, 1980)

A *P-trágyázásnál* figyelembe kell vennünk, hogy a talaj 300-600 kg/ha nagyságrendű könnyen oldható P készletéből mindösze 1-2 kg van oldott formában jelen a talajoldatban. A növények ellátását éppen ezért a tartalékok oldódási sebessége határozza meg. A gabonáknál pl. legalább 20-szor kell megújulnia az oldott készletnek ahhoz, hogy a növényállomány szükséglete fedezve legyen. Különösen nagy a felhasználás a bokrosodás és kalászosítás mintegy 20 napos intenzív fejlődési időszakban.

A műtrágyák foszforvegyületeinek oldhatósága rohamosan csökken a talajban, a kedvezőtlen átalakulási folyamatok következtében. Éppen ezért, még azokon a talajokon is, melyek a talajvizsgálatok alapján jól ellátottak, célszerű valamennyi foszfort pótolni, hogy friss, könnyen oldható foszfátok legyenek jelen.

Az 1970-es 80-as években – az intenzív műtrágyázás időszakában – általában a növények igényét meghaladó P-adagokat használtak. A műtrágyázási szaktanácsadás ajánlásai is erre ösztönöztek. Így alakult ki a pozitív P-mérleg; több P-műtrágyát használtunk fel, mint amennyit a terméssel elvontunk. Az utóbbi évtizedben éppen ellenkezőleg negatív a mérleg, mivel csak néhány kg/ha a felhasználás országos átlagban, ami veszélyezteti talajaink termékenységet.

Az adagok megállapításánál a talaj P-ellátottságot is figyelembe kell venni. Külföldön is a bőséges P-trágyázás javasolt. Németországban pl. még megfelelő ellátottság (C) esetén is a terméssel kivont P másfélszeresét javasolják felhasználni, fenntartó adagként. Gyenge ellátottságnál (A) 2,5-3,0, közepes ellátottságnál (B) 2,0-2,5 szorzók alkalmazását javasolják. Jó ellátottság (D) esetén a terméssel elvont mennyiségek pótlását tartják szükségesnek és csak az igen jó (E) kategóriában nem javasolnak pótlást (40. ábra). A differenciált adagokkal az ellátottság hosszabb idő alatt a megfelelőhöz közelít.

40. ábra: Javasolt P-adagok, különböző ellátottságú talajokon (Vetter, 1974)

A foszforműtrágya-adagok megállapításánál figyelembe kell vennünk a talajok kémhatását, karbonátosságát is. Szélsőségesen savanyú talajokon ( $\text{pH} < 5,0$ ), továbbá nagy kalcium-karbonát

tartalmú talajokon a leköötődés nagyobb. Savanyú, kötött talajokon anionadszorpcióval kell számolnunk.

Hazánkban legelterjedtebb a *szuperfoszfát* használata, melyet granulált és sima (őrölt) formában hoznak forgalomba. A granulált műtrágya lassabban oldódik és így a kedvezőtlen leköötődési folyamatok lassabban játszódnak le, mint a sima szuperfoszfát esetén. A *dikalcium-foszfát* és dikalcium-foszfát tartalmú összetett műtrágyák citrátoldhatóságuk miatt csak savanyú talajon használhatók.

A foszforműtrágyát *alaptrágyaként* adjuk, a trágyaadagok megosztása általában nem szokásos. A műtrágya ésszerűbb felhasználása érdekében egyes kultúráknál (pl. gabonaféléknél) sortrágyázást is alkalmaznak. A sortrágyázás helyileg nagy tápanyag-koncentrációt okoz, s ezzel elősegíti a növények kezdeti fejlődését.

A *tartalékoló trágyázás* lényege, hogy több év adagját egyszerre adják ki. Hazánkban nem terjedt el, mivel talajaink nagy részén fennáll a leköötődés veszélye.

A *feltöltő trágyázás* célja a gyengén ellátott talajok ellátottságának növelése egyszeri nagy adaggal, vagy többszöri emelt adagokkal. A szuperfoszfáttal történő feltöltés nem javasolható, mivel a vízzel oldható foszforvegyületek gyorsan átalakulnak a talajban. Feltöltésre elsősorban olcsó, kis oldhatóságú foszfátok, pl. finomra őrölt szekunder nyersfoszfátok, vagy Thomas salak őrlemény javasolhatók, ha rendelkezésre állnak. Mindkettő csak savanyú talajon alkalmazható eredményesen. Használatuk nem terjedt el, mivel csak importból hozzáférhetőek és helyettük más műtrágyát vásárolunk.

Külföldről monoammónium-foszfátot, diammónium-foszfátot, esetenként triple-szuperfoszfátot szereztünk be, elsősorban a folyékony műtrágyák előállításához.

A foszfor túladagolásának közvetlen káros, vagy kedvezőtlen hatása nincs, nem okoz termésdepressziót. A foszforműtrágyák nem savanyítják jelentős mértékben a talajt. Közvetett hatásként csökkent Zn-felvétel következhet be a talajban képződő Zn-foszfát gyenge oldhatósága miatt.

#### Kérdések

1. Miként befolyásolja a P-trágyázás a termést?
2. Mi indokolja a bőséges P-trágyázást?
3. Milyen talajtulajdonságokat kell figyelembe venni a P-adagok megállapításánál?
4. Mi a tartalékoló, illetve feltöltő trágyázás célja? Milyen anyagokat használhatunk feltöltésre?
5. Milyen a hazai P-műtrágyaválaszték?

### 3. Káliumműtrágyák

A kálium primer forrásai a *magmatikus kőzetek*, melyek a káliumot leucit, ortoklász és biotit formájában tartalmazzák. A káliumtartalmú szilikátok mállása során vízdoldható káliumvegyületek keletkeznek. Ezek egy része a növény és ezen keresztül az állatvilág tápanyagául szolgál, másik része a tengervízbe jut.

A műtrágyagyártás nyersanyagai az úgynevezett *nyerskálisók*, melyek a tengervíz bepárlódása illetve sótelepek kialakulása révén képződnek. A tengervíz K-tartalma viszonylag kicsi (0,07 % KCl) a Na nagy túlsúlyban van (2,7 % NaCl). A bepárlódás során a sók, oldhatóságuk sorrendjében váltak ki, ennek következtében a sótelepek réteges szerkezetűek. Először a legkisebb oldhatóságú anhidrit vált ki, ezt követte sorrendben a kősó, majd a kálium-, kalcium- és magnéziumsók.

Az egyes kálisó rétegek változó mennyiségű kősót is tartalmaznak, mivel a kiválás nemcsak a sók oldhatóságának, hanem ezek koncentrációjának is függvénye.

A sótelepeken a következő fontosabb ásványok fordulnak elő:

*Kloridok:*

halit	NaCl
szilvin	KCl
karnallit	KCl.MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O

*Szulfátok:*

kieserit	MgSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O
anhidrit	CaSO <sub>4</sub>
gipsz	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O

*Klorid-szulfát*

kainit	KCl.MgSO <sub>4</sub> .3H <sub>2</sub> O
--------	--

A világ legnagyobb kálisó telepei a Németország területén helyezkednek el. Ezenkívül Franciaországban, a volt Szovjetunióban, az Egyesült Államokban, Spanyolországban találhatók gazdag lelőhelyek.

#### 3.1. Káliumműtrágyák előállítása, nyersanyagok

A nyers kálisók és műtrágyák hatóanyagtartalmát – a foszforműtrágyákhoz hasonlóan – oxidos formában, K<sub>2</sub>O %-ban fejezik ki, többmint száz éve (1 % K<sub>2</sub>O = 0,83 % K).

A káliumműtrágyák előállítása nyers kálisókból különböző módszerekkel történhet:

- tisztítás átkristályosítással
- flotálás
- fajsúly szerinti osztályozás

Valamennyi módszer célja a nyers kálisókban jelenlévő kísérősók leválasztása, a nagy hatóanyagú K-műtrágyák előállítása.

Az *átkristályosítás* útján történő dúsítást az teszi lehetővé, hogy a különböző sók oldhatósága eltérő és az egyes sók oldhatósága a hőmérséklet változásával különböző mértékben változik. Az átkristályosítás a legelterjedtebb hagyományos módszer.

A *flotálás*, vagy úsztató-ülepítő eljárás ércek és ásványok dúsítására használt előkészítő módszer. A flotálás az egyes komponensek különböző nedvesíthetőségét használja ki az elválasztáshoz. Elsősorban finomszemcsés, vagy finomra őrölt nyersanyag feldolgozására alkalmas.

A nyersanyagot vízzel és különböző adalékokkal, *gyűjtő*, illetve *habképző* anyagokkal keverik. A *gyűjtő reagens* a dúsítandó komponenst *hidrofóbbá*, vagyis vizet taszítóvá teszi. A szuszpenzióba állandó keverés közben alulról levegőt fúvatnak. A felszálló levegőbuborékok a hidrofób részecskéket a felszínre szállítják, s ezek a keletkező habban gyűlnek össze. A nedvesedő részek a kád alján ülepednek le. A gyűjtő és habképző reagens szerepét sokszor ugyanaz a vegyület tölti be.

Gyűjtő reagensként zsíralkohol-szulfonátokat használnak, mellyel a szilvin a habba kerül. A termék KCl-tartalma 97 %, a kitermelés 90-95 %-os.

A *fajsúly szerinti* osztályozással karnallitos közetből nagy tisztaságú karnallitot állítanak elő. A kis fajsúlyú karnallit szemcsék vibrációs szitákon elválaszthatók a kísérő sóktól.

### 3.2. Fontosabb nyerskálisos típusok

#### *Szilvinit*

A szilvinit szilvin (KCl) és kősó (NaCl) keveréke. Ezenkívül agyagot és anhidritet, valamint egyéb kísérő ásványokat tartalmaz. K-tartalma 12-22 %  $K_2O$ .

#### *Karnallit*

A karnallit 40-60 % karnallitot, ( $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ), 30-40 % kősót (NaCl), 7-15 % kieseritet ( $MgSO_4 \cdot H_2O$ ) tartalmaz. Változó mennyiségben egyéb kísérő ásványok is előfordulnak benne.

#### *Kemény só (Hartsalz)*

10-25 % szilvint (KCl), 30-75 % kősót (NaCl), és 8-15 % kieseritet ( $MgSO_4 \cdot H_2O$ ) tartalmaz egyéb kísérő ásványokon kívül.



## *Kainitos kőzet*

Kősó ( $\text{NaCl}$ ) és kainit ( $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) változó arányú keveréke.

### **3.3. Kálium-klorid-tartalmú műtrágyák előállítása**

#### *3.3.1. Szilvinit feldolgozása*

A hagyományos eljárás során a kálium-kloridot frakcionált kristályosítással választják el a nátrium-kloridtól. Az elválasztást az teszi lehetővé, hogy a két só oldhatósága alacsony hőmérsékleten közel azonos, a hőmérséklet növekedésével a *kálium-klorid* oldhatósága növekszik, míg a *nátrium-klorid* oldhatósága alig változik. Ennek következtében magas hőmérsékleten több kálium-klorid oldódik, mint nátrium-klorid a két vegyület forró oldatának lehűtésével pedig csak kálium-klorid válik ki, mivel hidegen kevésbé oldódik, mint melegen. Az egyes sók oldhatósági görbéit az 41. ábra szemlélteti.

41. ábra: Sók oldhatósága a hőmérséklet függvényében (Pozin, 1952)

#### *3.3.2 Karnallit feldolgozása*

A karnallit ( $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) feldolgozásánál a kálium-kloridot magnézium-kloridtól kell elválasztani. Ezt az teszi lehetővé, hogy a magnézium-klorid oldhatósága nagyobb, mint a kálium-klorid oldhatósága.

#### *3.3.3. Keménysó (Hartsalz) feldolgozása*

A keménysó fő összetevői a kősó és szilvin, így feldolgozása hasonló a szilvinit feldolgozásához. A szilvin kioldása közben meg kell akadályozni a kieserit oldódását.

A felsorolt eljárásokkal a-kisérősók leválasztásától függően *különböző hatóanyagtartalmú* műtrágyák állíthatók elő, melyekben a kálium-klorid a domináló vegyület:

40-es kálisó	38-42 % $\text{K}_2\text{O}$
50-es kálisó	48-52 % $\text{K}_2\text{O}$
60-as kálisó	legalább 60 % $\text{K}_2\text{O}$

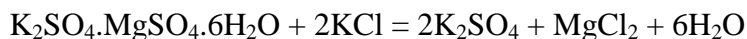
### **3.4. Kálium-szulfát-tartalmú műtrágyák előállítása**

A kősótelepeken sokkal nagyobb mennyiségben fordulnak elő *kloridtartalmú* ásványok, mint *szulfátok*, ezért a szulfáttartalmú műtrágyák előállítása is többnyire kloridokból történik, kémiai módszerekkel.

Kálium-kloridból magnézium-szulfáttal állítható elő kálium-szulfát. A cserebomlásban kálium-szulfát, magnézium-szulfát kettős só keletkezik:



A reakció terméke a *kálímagnézia*, vagy *Patent-káli*, mely egyrészt, mint magnéziumtartalmú káliumműtrágya közvetlenül is felhasználható (K-tartalma 30 %  $\text{K}_2\text{O}$ ), másrészt tiszta kálium-szulfáttá dolgozható fel:



A kálium-szulfátot 48-52 %  $\text{K}_2\text{O}$  hatóanyagtartalommal állítják elő.

### 3.5. Magnéziumtartalmú K-műtrágyák

Régebben a nyers kálisókat közvetlenül is felhasználták trágyázásra. Az ipar fejlődésével egyre nagyobb hatóanyagtartalmú műtrágyák előállítása vált lehetővé. A tisztított káliumműtrágyák szállítása, tárolása gazdaságosabb, azonban a kísérő sók közül a Mg-sóknak is fontos szerepük van a növény táplálkozásban, így ezek leválasztása nem minden esetben célszerű. Ma már az ipar Mg-tartalmú műtrágyákat is gyárt, pl. Kornkali, Patentkali elnevezéssel. Mg-tartalmuk általában 4-6 %. A fontosabb K-műtrágyák összetételét a 35. táblázat tartalmazza.

35. táblázat: **Néhány kálimműtrágya összetétele, kísérőelemei**

Műtrágya	$\text{K}_2\text{O}$ %	Mg %	Na %	S %
40-es kálisó (KCl)	38-42	-	-	-
50-es kálisó (KCl)	48-52	-	-	-
60-es kálisó (KCl)	min.60	-	-	-
Kálium-szulfát	48-52	-	-	18
Korn-Kali (KCl)	40	4	3	4
Patentkali ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ )	30	6	-	17
Magnesia Kainit (nyers kálisó)	11	3	20	4

#### Kérdések

1. Hogyan jöttek létre a kálisó telepek?
2. Milyen elveken alapul a nyerskálisók feldolgozása?
3. Milyen kálisó típusokat ismer?
4. Hogyan állíthatók elő kálium-klorid tartalmú műtrágyák?
5. Miként állítható elő kálium-szulfát?
6. Milyen Mg-tartalmú káliumműtrágyákat ismer?

### 3.6. Káliumtrágyázás

A kálium kedvezően hat a termés mennyiségére és minőségére. Elősegíti a szénhidrátok (cukrok, keményítő, cellulóz) képződését, javítja a gabonafélék és a kukorica szárszilárdságát. Véd a stresszhatásokkal szemben, fokozza a növények fagytűrő-képességét, javítja a vízháztartást és fokozza a betegség-ellenállóságot.

A káliumtrágyázás elengedhetetlen része a növények harmonikus tápanyagellátásának. A terméssel elvont K mennyisége viszonylag nagy. A *gabonafélék* termésével átlagban 100-150 kg, a *kapásokkal* mintegy 200-250 kg  $K_2O$ -nak megfelelő hatóanyagot vonunk el hektáronként. Ennél is nagyobb a *zöldség és gyümölcsfélék* K igénye, a terméssel elvont hatóanyag mennyisége meghaladja a 300-350 kg-ot.

A káliumadagok megállapításánál, a növény igényén kívül figyelembe kell venni a talaj K ellátottságát, az *agyagtartalmat* és *agyagminőséget*. Minél nagyobb a talaj agyagtartalma, annál több K-ot kell tartalmaznia, azonos ellátottság eléréséhez.

A hazai talajok *agyagásvány* összetételét röntgendiffrakciós vizsgálatok alapján Stefanovits és mtsai jellemezték. Térképet szerkesztettek, melyen feltüntették a domináns *agyagásvány társulásokat* (42. ábra). A társulások a jelmagyarázatban növekvő káliumkötőképesség sorrendjében követik egymást. A térképen a sűrű, keresztirányú vonalkázás jelzi azokat a területeket, ahol a *szmektitek* dominánsak és így a legnagyobb a K-fixálás veszélye. A K-fixálás csak 15 % agyagtartalom felett számottevő.

A talajok K-háztartásának jellemzésére további térképek is készültek. Az *egyik* a káliumhordozó (csillám, illit, K-földpátok) és a K-kötő ásványok (szmektitek) arányát, valamint az agyagtartalmat tünteti fel. A talajok K-szolgáltatása akkor tekinthető jónak, ha az agyagtartalom jelentős és a hányados számértéke is nagy.

A műtrágyázási szaktanácsadásban közvetlenül hasznosítható a *másik* térkép, amelyen az agyagtartalmat és az agyagásványok mennyiségét ábrázolták. K-kötés a két adat szorzatával jellemezhető. Ha az értékszám kisebb, mint 8 a K-kötés elhanyagolható, 8-16 között mérsékelt 16-32-ig jelentős, 32 felett igen erős.

42. ábra: Magyarország agyagásványtérképe (Stefanovits és mtsai, 1984)

A térképek jól érzékeltetik azokat a különbségeket, melyek a K-szolgáltatás, valamint a K-műtrágyázás várható hatása tekintetében fennállnak. Élesen elkülönülnek a dunántúli dombsági tájak és a Duna-Tisza közti homokhát kevés káliumot szolgáltató, de a K-műtrágyák érvényesülését nem akadályozó talajai, az Alföld és az Északi-Középhegység káliumot erősen megkötő talajaitól.

A térképek segítségével a *mélyebb rétegek* káliumszolgáltatásáról illetve megkötéséről is képet alkothatunk. Az ország nagy részén a művelt réteg alatti rétegek K-ellátottsága jelentősen eltér a feltalajétól, erre a jövőben több figyelmet kell fordítani.

A káliumtrágyázásra K-klorid és K-szulfát műtrágyákat használunk. Egyes növényfajok kloridra érzékenyek, ezért trágyázásukra a kálium-szulfát használata javasolt.

*Kloridérzékeny* növények a dohány, burgonya, a gyümölcsfélék és a szőlő. A gabonafélék répa, vöröshere, lucerna, továbbá rétek és legelők növénytársulásai nem érzékenyek, így trágyázásukra kálium-klorid használható. A klorid kedvezőtlen hatása nagy adagban alkalmazva a kloridra nem érzékeny növényeknél is jelentkezhet.

A káliumműtrágyák savanyító hatása azon alapszik, hogy  $K^+$ -ionok kicserélik a talajkolloidokon adszorbeált  $H^+$ -ionokat, ezzel növelik a savanyú talajokon az *aktuális* savanyúságot.

#### Kérdések

1. Mennyi káliumot vonunk el a talajból évente a gabonafélék, kapások, zöldség- és gyümölcsfélék termésével?
2. Milyen talajtulajdonságokat kell figyelembe venni a K-adagok megállapításánál?
3. Mi a szerepe az agyag mennyiségének és minőségének?
4. Milyen térképek készültek a hazai talajok K-ellátottságának jellemzésére?
5. Mi a jelentősége a kálium-szulfát használatának egyes kultúráknál?

#### 4. Összetett műtrágyák

Általában két, esetenként három tápelemet tartalmaznak egy vegyületben, előállításuk kémiai módszerekkel történik. A nitrogént és foszfort tartalmazó összetett műtrágyákat többnyire kálisó hozzákeverésével NPK trágyává egészítik ki.

##### 4.1. Ammónium-foszfátok

Foszforsavat ammóniával semlegesítve az ammonizálás mértékétől függően mono-, di- és triammónium-foszfát képződik. Műtrágyaként csak mono- és diammónium-foszfát alkalmazható. A tápanyagok aránya nem kedvező az ammónium-foszfátokban, a foszfortartalom többszöröse a nitrogénnek, ezért nitrogénnel dúsítva is előállítják ezeket. A mono- és diammónium-foszfátokat, valamint az ammónium-metafoszfátot a folyékony műtrágyák foszforkomponenseként is felhasználják.

#### 4.1.1. Monoammónium-foszfát, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

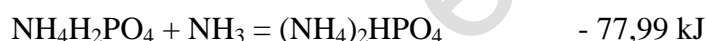
Előállítható termikus és extrakciós foszforsavból semlegesítéssel:



A monoammónium-foszfát hatóanyagtartalma: 61,7 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  és 12,2 % N. Kálisó hozzákeverésével NPK műtrágya állítható elő.

#### 4.1.2. Diammónium-foszfát, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$

Előállítható közvetlenül a foszforsav és ammónia reagáltatásával, illetve monoammónium-foszfátból:



A diammónium-foszfát hatóanyagtartalma 53,8%  $\text{P}_2\text{O}_5$  és 21,2 % N. A foszforsav ammonizálását általában két lépcsőben végzik. Kálisóval kiegészítve NPK műtrágya készíthető.

#### 4.1.3. Ammónium-foszfát-nitrát

Foszforsav és salétromsav együttes ammonizálásával állítható elő. Az így előállított termék ammónium-nitrátot, mono- és diammónium-foszfátot tartalmaz. Kálisóval keverve NPK műtrágya állítható elő.

#### 4.1.4. Karbamid-ammónium-foszfát

Az ammónium-foszfát nitrogéntartalmának növelése karbamid hozzáadásával is elvégezhető. Ezzel a N- és P-tartalom kiegyenlíthető 30-30 %-ra. Kálisó kiegyenlítéssel 20-20-20 összetételű műtrágya állítható elő.

#### 4.1.5. Ammónium-metafoszfát

Az ammónium-metafoszfát nagy foszfortartalmú és kis nitrogéntartalmú műtrágya (73 %  $P_2O_5$  és 14 % N). Előállítása foszfor-pentoxid és ammónia egymásra hatásával történhet:



A műtrágya nitrogén- és foszfortartalmának 20-30 %-a nehezen oldódó formában van jelen.

#### 4.2. Ammonizált szuperfoszfát

A szuperfoszfát ammonizálásával a műtrágya összetétele és tulajdonságai megváltoznak. A szabad savtartalom semlegesítésével kedvezőtlen fizikai tulajdonsága (higroszkóposság, tapadás) megszüntethető. Az ammonizálás hatására N-, P-tartalmú összetett műtrágya képződik.

Az ammonizálás folyamán egyrészt a *szabad foszforsav*, másrészt a *monokalcium-foszfát* lép reakcióba az ammóniával:



A foszforsav semlegesítődik, monoammónium-foszfát keletkezik (1), a vízzoldható monokalcium-foszfát citrátoldható dikalcium-foszfáttá alakul (2).

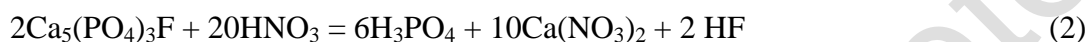
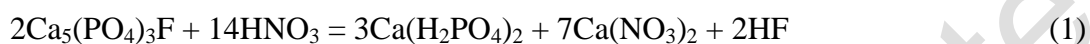
*Ammóniafelesleg hatására*, gipsz jelenlétében a szuperfoszfát monokalcium-foszfát tartalma előbb *dikalcium-foszfáttá*, majd *trikalcium-foszfáttá* alakul, végül *apatitok* képződnek.

Az oldhatatlan vegyületek képződése kedvezőtlen, mivel a műtrágya vízzoldható foszfortartalmának csökkenésével jár. A *foszfátreverzió* elkerülhető az ammónia pontos adagolásával, magnézium- és különböző mikroelem-vegyületek hozzáadásával.

Friss szuperfoszfát ammonizálásával 13-15 %  $P_2O_5$  és 6-7 % N-tartalmú műtrágya állítható elő. A közvetlenül ammonizált szuperfoszfát feltáratlan nyersfoszfátot is tartalmaz, ezért célszerű érlelt szuperfoszfátot ammonizálni.

#### 4.3. Nyersfoszfátok feltárása salétromsavval

Nyersfoszfátok salétromsavas feltárásával NP tartalmú műtrágyákat állíthatunk elő. A feltárás során a kiinduló anyagok arányától függően vagy monokalcium-foszfát, vagy foszforsav képződik, kísérésóként kalcium-nitrát keletkezik:



Az első egyenlet alapján a szuperfoszfát gyártásához hasonlóan *nitroszuperfoszfát* állítható elő. A második egyenlet szerint foszforsav és kalcium-nitrát tartalmú oldat keletkezik, melyből különböző műtrágyák állíthatók elő.

Az oldatot kalcium-hidroxiddal pH=4,5-ig semlegesítve a foszforsav *dikalcium-foszfát* formájában kicsapható.

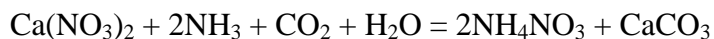
A feldolgozás *másik* lehetősége, az oldat ammonizálása, NP műtrágya előállítás. Az oldat közvetlen ammonizálása a nagy Ca-felesleg hatására hidroxipatit képződéséhez vezet.

A hidroxipatit képződésének megakadályozására az oldatban a kalcium és foszforvegyületek arányát  $CaO/P_2O_5 < 2$  értékre kell csökkenteni. Hazánkban *Kincses és Balla* eljárása szerint az oldat kalcium-nitrát tartalmának 40 %-át hűtéssel kikristályosítják és ezután ammonizálják. Ez esetben az ammonizálás a következő egyenlet szerint megy végbe:



Az eljárással 20-20 % NP tartalmú műtrágyát állítanak elő, amely dikalcium-foszfátból és ammónium-nitrátból áll.

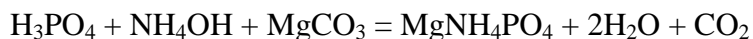
Melléktermékként kalcium-nitrátot nyernek, mely ugyancsak felhasználható. Ebből állítják elő a *Péti meszet*, az alábbi reakció szerint:



A kalcium-karbonát az oldatból kiválik. A finomszemcsés csapadékot leszűrik majd szikkasztás után *Péti mész* néven mésztrágyaként forgalmazzák. Az oldatból az ammónium-nitrát a szokásos módon kinyerhető.

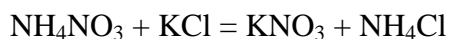
#### 4.4. Magnézium-ammónium-foszfát, $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$

A vegyület egy, illetve hat molekula kristályvízzel kristályosodik. A monohidrátot használják műtrágyaként. Előnye, hogy nemcsak nitrogént és foszfort, hanem magnéziumot is tartalmaz. Vízben kismértékben oldódik, ezért lassan ható műtrágya. Az ipari termék 8 % N-t, 40 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ -ot és 14 % Mg-ot tartalmaz. Előállítása az alábbi reakció alapján történhet:



#### 4.5. Kálium-nitrát, $\text{KNO}_3$

A kálium-nitrát 13 % N és 38 % K hatóanyagot tartalmazó, vízben jól oldódó műtrágya, ezért jól használható *tápoldatok* készítésére. A N és K kedvezőtlen aránya (1:3) N-műtrágyák hozzáadásával kiegyenlíthető. Előállítása a következő cserebomlást szerint történhet:



Az oldatból a kálium-nitrátot a két só oldhatósága közötti különbség alapján nyerik ki. Előállítása költséges, ezért többnyire csak vízkultúrákban használják.

#### 4.6. Kálium-metafoszfát, $\text{KPO}_3$

Kis oldhatóságú, lassan ható, koncentrált, összetett műtrágya. P-tartalma 60 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ , K-tartalma 40 %  $\text{K}_2\text{O}$ . Előállítására két reakció ismert:



Mindkét reakció magas hőmérsékleten, mintegy 800-900 °C-on megy végbe.

#### Kérdések

1. Mi jellemzi az összetett műtrágyákat? Alkalmazásuk előnyei és hátrányai.
2. Milyen ammónium-foszfátokat ismer? Jellemezze hatóanyagtartalmukat és tulajdonságukat!
3. Milyen folyamatok kísérik a szuperfoszfát ammonizálását?
4. Milyen termékei ismertek a salétromsavas feltárásnak? Mi a Kincses-Balla technológia lényege?
5. Hogyan állíthatunk elő magnézium – ammónium-foszfátot? Milyen tulajdonságokkal rendelkezik?
6. Mit tud a kálium-nitrátról?
7. Ismertesse a kálium-metafoszfát előállítását, tulajdonságait.



## 5. Kevert műtrágyák

A kevert műtrágyák *egyszerű* műtrágyák, vagy *egyszerű* és *összetett* műtrágyák keverése révén előállított két, vagy többkomponensű műtrágyák. A műtrágyakeverék tulajdonságait a komponensek tulajdonságai határozzák meg. Éppen ezért a komponenseket úgy kell megválasztani, hogy kémiai reakció következtében ne léphessen fel hatóanyagvesztés és a keverék tulajdonságai (oldhatóság, higroszkóposság stb.) lehetőleg ne legyenek rosszabbak, mint a keveréshez felhasznált műtrágyáké. A cél jó minőségű, könnyen kezelhető homogén és stabil műtrágyakeverékek előállítása. A műtrágyakeverés ipari és mezőgazdasági üzemben is elvégezhető.

*A keverés kémiai feltételei:*

- A foszfátreverzió elkerülésére a szuperfoszfát nem keverhető kalciumtartalmú műtrágyákkal, javítóanyagokkal.
- A szabad savat tartalmazó szuperfoszfát nem keverhető ammónium-nitráttal, mert nitrózus-gáz képződik.
- Az ammóniumsók nem keverhetők bázikus hatású műtrágyákkal, pl. Thomas salakkal, mert ammónia képződik.
- Nem keverhető a karbamid szuperfoszfáttal és ammónium-nitráttal, mivel e műtrágyák a karbamiddal nedvszívó addukt vegyületeket képeznek.

*A keverés fizikai előfeltételei:*

- Nem keverhetők egymással a különböző formájú és szemcseösszetételű (pl. por, kristályos anyag; apró és normál szemcsés) műtrágyák, mivel mozgítás, szállítás, kiszórás közben újra szétválnak. Ennek következtében inhomogén műtrágya jön létre, az egyes komponensek szórásképe eltérő.
- Csak hasonló vagy közel azonos szemcseméretű komponensekből készíthető homogén műtrágyakeverék, melynek összetétele, megoszlása és tápanyagtartalma azonos.
- A homogenitást kedvezőtlenül befolyásolja, ha a komponensek hatóanyagtartalma között nagy a különbség, mivel a kívánt hatóanyagtartalom eléréséhez nagyon eltérő mennyiségeket kell összekeverni.
- A keveréshez felhasznált műtrágya nem lehet nedves, tapadós, összecsomósodott. Kívánatos, hogy a szemcsék kopásállósága megfelelő legyen, a porladó szemcsékből álló műtrágya nem alkalmas a száraz keverésre.
- A keverésnél figyelembe kell venni a műtrágyák higroszkóposágát is, mely adott hőmérsékleten a levegő relatív nedvességtartalmának függvénye. *Kritikus relatív légnedvességnek* nevezzük azt a páratartalmat, melynél a műtrágya nem ad le és nem vesz fel nedvességet a levegőből.

A műtrágya annál higroszkóposabb, minél kisebb relatív nedvességtartalom mellett vesz fel nedvességet a levegőből (36. táblázat). A keverékek kritikus nedvességtartalma mindig kisebb, mint a komponenseké, ami ugyancsak nehezíti a stabilis, könnyen kezelhető műtrágyák előállítását.

36. táblázat A műtrágyák felosztása a higroszkóposság alapján

Higroszkóposság	KRL	A műtrágya megnevezése
Igen higroszkópos	< 60	ammónium-nitrát, kalcium-nitrát
Higroszkópos	60 -70	ammónium-klorid, nátrium-nitrát
Csak gyengén higroszkópos	70-80	karbamid
Nem higroszkópos	> 80	kálisók, ammónium-szulfát szuperfoszfát

KRL = kritikus relatív légnedvesség

A műtrágyák keverhetőségének jellemzésére többféle ajánlás ismert, melyek a kémiai összeférhetőség figyelembevételével írják le a keverés lehetőségét. Általában megkülönböztetést tesznek aszerint, hogy a keverék közvetlenül felhasználásra kerül-e, vagy sem (43. ábra). *Közvetlen felhasználás* esetén ugyanis lehetővé válik az egyébként nem javasolt műtrágyakeverékek előállítása. Így pl. a szuperfoszfát és karbamid keverése, mivel a higroszkópos termék képződése időben elhúzódó folyamat.

43. ábra: A műtrágyák keverhetősége (Mezőgazd. Kem. kézikönyv, MVE, 1972)

*Mezőgazdasági üzemekben* a száraz keverési eljárást (bulk blending) használják.

A gyakorlatban–kedvező szemcseméret hasonlóság esetén–a következő műtrágyák jöhetnek számításba keverési komponensként:

Ammónium-nitrát	(AN)
Mészammon-salétrom	(MAS)
Karbamid	(U)
Szuperfoszfát	(SP)
Triple szuperfoszfát	(TPS)
Szemcsézett kálium-klorid	(KCl)
Monoammónium-foszfát	(MAP)
Diammónium-foszfát	(DAP)

A felsorolt műtrágyákból készíthető keverékek:

<u>NP műtrágya</u>	<u>NPK műtrágya</u>
AN + MAP	AN + MAP + KCl

AN + DAP	AN + DAP + KCl
MAS + TSP	MAS + TSP + KCl
MAS + MAP	MAS + MAP + KCl
MAS + DAP	MAS + DAP + KCl
U + MAP	U + MAP + KCl
U + DAP	U + DAP + KCl
SP + DAP	SP + DAP + KCl
	MAP + KCl
	DAP + KCl

Az elmondottakból kitűnik, hogy a műtrágyakeverés nagy körültekintést igényel és a mezőgazdasági üzemben szinte lehetetlen valamennyi körülménynek eleget tenni. Éppen ezért az üzemen belüli keverés nem javasolható, annak ellenére, hogy bizonyos gazdasági előnyökkel jár (egymenetes kiszórás). Célszerűbb az iparilag kevert műtrágyák használata.

Az *ipari üzemben* rendszerint kevés víz hozzáadásával meleg vagy hideg eljárással történik a keverés, a keveréket szárítják, szemcsézik. Néhány hazai kevert NPK műtrágya *ipari* előállítását az alábbiakban ismertetjük:

A Peremartoni Vegyipari Vállalat korábban szuperfoszfát ammonizálásával és kálisó hozzákeverésével 4-14-14 összetételű NPK műtrágyát gyártott. A szuperfoszfát kis hatóanyagtartalma miatt a termék hatóanyagtartalma alacsony. Triple szuperfoszfát, illetve ammónium-foszfátok felhasználásával nagyobb hatóanyagtartalmú műtrágyák is készíthetők (37. táblázat).

37. táblázat **Hazai kevert NPK -műtrágyák**

Gyártó	Megnevezés	Hatóanyag-tartalom (%)		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Péti Nitrogénművek	NPK-komplex	16,5	16,5	16,5
Peremartoni	PERETRIX	4	14	14
Vegyipari	PERETRIX	8	20	28
Vállalat	PERETRIX	8	21	21
	PERETRIX	8	26	16
Tisza menti	NPK kevert	2	18	18
Vegyiművek, Szolnok	PK kevert	0	10	24,5

A Péti Nitrogénművekben a dikalcium-foszfátból és ammónium-nitrátból álló NP összetett műtrágyát kevernek mono- és diammonium-foszfáttal, valamint kálium-kloridral, a termék hatóanyagtartalma 16-16-16.

#### Kérdések

1. Mi jellemző a kevert műtrágyákra?
2. Melyek a műtrágyakeverés fizikai és kémiai előfeltételei?
3. Mit kell elkerülnünk a műtrágyakeverés során?
4. Mi a különbség az ipari és mezőgazdasági üzemben végzett műtrágyakeverés között?
5. Milyen műtrágyák keverhetők a mezőgazdasági üzemben?
6. Milyen ipari termékeket ismer?

### 6. Folyékony NP és NPK műtrágyák

A szilárd műtrágya keverékek előállításának lehetőségei korlátozottak, emiatt az 1980-as években hazánkban a folyékony műtrágyák előállítása került előtérbe.

*Alkalmazásuk előnye*, hogy a tápelemek vízben oldva, illetve szuszpendálva – megfelelő gépekkel – egyenletesebben juttathatók ki, mint szilárd állapotban. Tápelemarányuk szinte tetszőlegesen választható meg. A polifoszforsav alapú NP oldatok alkalmazásának előnye, hogy a polifoszfátok a talajban kisebb mértékben kötődnek le, mint az ortofoszfátok. Az NP és NPK műtrágyák előállítása történhet az iparban és a mezőgazdaságban. Előbb az ipari, majd a mezőgazdasági előállítást tárgyaljuk.

#### 6.1. Ortofoszforsav alapú NP oldatok

Az NP oldatok készítéséhez orto- vagy polifoszforsavat semlegesítenek ammóniával, majd az így kapott *alapoldatot* egészítik ki a kívánt N-tartalomra. *Ortofoszforsavból* 8-24-0 összetételű alapoldat készíthető, melynek kedvezőtlen nitrogén-foszfor aránya különböző N-vegyületekkel, pl. UAN oldattal javítható. (38. táblázat.)

38. táblázat **Különböző tápanyagarányú NP oldatok összetétele (alapoldat + UAN)**

Arány	Alapoldat			
	orto		polifoszfát	
	8-24-0	10-34-0	11-37-0	12-44-0
3:1:0	15- 5-0	21- 7-0	24- 8-0	24- 8-0
2:1:1	16- 8-0	20-10-0	22-11-0	24-12-0
1:1:0	13-13-0	17-17-0	20-20-0	21-21-0
<u>Szuperfoszforsav töménysége</u> →				

A 38. táblázat adatai alapján megállapítható hogy mindegyik alapoldatból N kiegészítéssel előállíthatók különböző N:P arányú oldatok. Ezek abban különböznek egymástól, hogy míg az ortofoszforsavból maximálisan 20-26 % összes hatóanyagtartalmú oldatok készíthetők a szuperfoszforsavból előállított NP oldatok töménysége elérheti a 40 %-ot is.

## **6.2. Polifoszforsav alapú NP oldatok**

A különböző foszforsavak elegyéből álló ún. "szuperfoszforsav"-ból nagy hatóanyagtartalmú ammónium-polifoszfát oldatok állíthatók elő. Az *alapoldatok* összetétele nagymértékben függ a szuperfoszforsav töménységétől, s ennek megfelelően 10-34-0; 11-37-0; 12-44-0 lehet.

A 39. táblázat alapján megállapítható, hogy a foszforsav koncentrációjának növekedésével növekszik a különböző polifoszforsavak aránya, vagyis minél töményebb savból indulunk ki a gyártás során, annál több polifoszfátot tartalmaz az oldat.

39. táblázat A foszforsav töménysége és a  $P_2O_5$ -tartalom megoszlása közötti összefüggés

Összes $P_2O_5$ %	A $P_2O_5$ -tartalom megoszlása az összes $P_2O_5$ %-ában					
	orto	piro	tri-poli	tetra-poli	penta-poli	magasabb-poli
	f o s z f o r s a v					
68,8	100					
70,6	95,2	4,8				
72,4	87,3	12,7				
74,3	67,8	29,5	2,7			
76,0	48,9	41,8	8,2	1,1		
78,0	26,9	49,3	16,9	5,3	1,6	
79,5	16,7	43,3	22,1	10,7	4,5	2,7
81,6	8,1	27,0	22,3	17,0	11,0	14,6
84,2	3,6	10,6	11,6	13,1	12,2	48,9

A különböző *polifoszforsavak* növekvő számú foszforsav egységekből állnak, melyek oxigénhídon keresztül láncszerűen kapcsolódnak egymáshoz (44. ábra).

44. ábra: Polifoszforsavak szerkezete

A polifoszfátok előnyös tulajdonságokkal rendelkeznek: sajátos szerkezetük akadályozza a foszfátlekötődést a talajban, szekvesztráló (komplexxképző) sajátságuk lehetővé teszi, hogy az oldatokat mikroelemekkel is kiegészítsék.

### 6.3. NPK oldatok

Az NP oldatokból KCl hozzáadásával NPK oldatok állíthatók elő, ezek hatóanyagtartalma azonban már kisebb, mint az NP oldatoké, mivel a hozzáadott KCl megváltoztatja az oldhatósági viszonyokat. A három tápelemet tartalmazó oldatok esetében az NP oldat készítéséhez felhasznált N-vegyületek határozzák meg a maximális hatóanyagtartalmat, nem pedig a felhasznált foszforsav töménysége.

A N-formák közül a *karbamid*, *UAN oldat*, illetve *ammónium-nitrát* a felsorolás sorrendjében alkalmas N-kiegészítésre, mivel az ammónium-nitrát befolyásolja legkedvezőtlenebbül az oldhatósági viszonyokat.

A 40. táblázatban néhány ortofoszfát, illetve polifoszfát alapoldatból készíthető NPK oldat lehetséges összetételét mutatjuk be. Ebből látható, hogy az NPK oldatok összes hatóanyagtartalma és egy-egy tápelem koncentrációja kisebb, mint az NP oldatokban. Az orto- és polifoszfát

alapoldatokból készíthető NPK oldatok összetétele között nincs lényeges különbség. Az NPK oldatok tápanyagaránya is viszonylag tág határok között változtatható.

40. táblázat **Különböző tápanyagarányú NPK-oldatok összetétele**

Arány	Alapoldat	
	ortofoszfát	polifoszfát
1 : 1 : 1	10 : 10 : 10 7 : 7 : 7	8 : 8 : 8
1 : 2 : 1	8 : 16 : 8 5 : 10 : 5	8 : 16 : 8
1 : 3 : 1	6 : 18 : 6	7 : 21 : 7
1 : 2 : 2	5 : 10 : 10	5 : 10 : 10
2 : 1 : 1	16 : 8 : 8	10 : 5 : 5
2 : 2 : 1	12 : 12 : 6	10 : 10 : 5
3 : 1 : 1	15 : 5 : 5	12 : 4 : 4

#### 6.4. Szuszpenziós műtrágyák

Az NPK oldatok viszonylag kisebb tápanyagtartalma vezetett a nagyobb hatóanyagú (összesen mintegy 40-50 % NPK tartalmú) szuszpenziós műtrágyák kifejlesztéséhez. A szuszpenziós műtrágyákban a hatóanyagok részben *oldott*, részben *lebegő*, *szuszpendált* állapotban vannak jelen. A vízzeloldható komponensek telített oldatot képeznek, a többi alkotórész részben kolloid, részben mikrokristályos alakban található.

A szuszpenziós műtrágyákat az *iparban* N és NP oldatokból készítik 60 %-os kálium-klorid hozzáadásával.

Alapkövetelmény a szuszpenzió *stabilitása*, amit adalékanyagok hozzáadásával és keveréssel biztosítanak. Többnyire különböző agyagokat, így pl. attapulgitot és bentonitot használnak stabilizálóként. Az adalékok egyrészt a nagyobb kristályok képződését, másrészt a lebegő alkotórészek ülepedését akadályozzák. A nagyobb kristályok jelenlétét és képződését azzal is meggátolják, hogy a kálium-kloridot rendkívül finom szemcsés alakban (maximum 100 mikron) keverik az NP oldatokba.

A szuszpenziós műtrágya összetételét is a kiinduló anyagok tulajdonságai szabják meg. Kedvező esetben 15-15-15 hatóanyagú szuszpenziós műtrágyák is előállíthatók. A tápanyagarányok tetszés szerint változtathatók, néhány ipari szuszpenziós műtrágya összetételét a 41. táblázat tartalmazza.

41. táblázat **Ipari NPK szuszpenziós műtrágyák**

Gyártó	Megnevezés	Hatóanyag-tartalom (%)		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O

NEVIKI Borsodnádasd	NPK Szuszpenzió	tetszés szerint		
NEVIKI Keszthely	NPK Szuszpenzió	tetszés szerint		
Vegyipari V. Peremarton	PERETRIX Fxyz	tetszés szerint		
Budapesti Vegyiművek	Szuszpenziós NPK	9	18	27
Budapesti Vegyiművek	Szuszpenziós NPK	26	13	13
Budapesti Vegyiművek	Szuszpenziós NPK	15	19	15
Budapesti Vegyiművek	Szuszpenziós NPK	19	16	23
Budapesti Vegyiművek	Szuszpenziós NPK	16	16	24

#### 6.4.1. Szuszpenziók előállítása mezőgazdasági keverőüzemben

A *mezőgazdasági* keverőüzemekben a szuszpenziós műtrágyákat szilárd műtrágyák vízben oldásával állítják elő. Nitrogén komponensként ammónium-nitrátot és karbamidot használnak. Foszfór komponensként mono- és diammónium-foszfátot oldanak, a káliumot kálium-klorid formában adják hozzá. A hazánkban működő szuszpenziókészítő üzemek technológiai megoldásai különbözőek. Szuszpendálószerként egyesek agyagásvány-örleményeket, mások vinaszt (szeszipari melléktermék) használnak.

#### Kérdések

1. Hogyan állíthatók elő NP oldatok? Miben különböznek az orto- és polifoszfát alapú NP oldatok?
2. Mi szabja meg az NPK oldatok maximális hatóanyagtartalmát?
3. Hogyan állíthatók elő a szuszpenziós műtrágyák? Mi az adalékok szerepe?

#### 6.5. Összetett, kevert és folyékony NPK műtrágyák felhasználása

Az *összetett műtrágyák* termelése és felhasználása 1970-1980 között világszerte fellendült. Alkalmazásuk előnyei: a nagyobb hatóanyagtartalmú műtrágyák szállítási, raktározási és kiszórási költségei kisebbek, mint az azonos hatóanyagot tartalmazó egyszerű műtrágyáké. Agrokémiai szempontból előnyt jelent, hogy az összetett műtrágyákban valamennyi műtrágyaszemcse azonos összetételű, ami kedvezően befolyásolja a növények tápanyagfelvételét. A növények gyökérzete a tápanyagokat helyileg együtt találja. Az egyes elemek elősegíthetik egymás felvételét, pl. a foszfór felvétele nitrogén jelenlétében fokozott.

Az összetett műtrágyák hatását ekvivalens mennyiségű hatóanyagot tartalmazó egyszerű műtrágyák hatásával mérik össze. A kísérleti tapasztalatok szerint az összetett műtrágyák termésnövelő hatása általában megegyezik, esetenként pedig még nagyobb az egyszerű műtrágyák hatásánál.



Az összetett műtrágyákat változó N:P:K aránnyal állítják elő, azonban a hazai választék nem megfelelő, csak részben biztosítja a növények kiegyensúlyozott ellátását. A kedvezőtlen arányú összetett műtrágyák szükség szerint egyszerű műtrágyákkal kiegészíthetők. Az összetett műtrágyákat alaptrágyaként használják. A N-adag őszi-tavaszi megosztása úgy biztosítható, hogy kis N-tartalmú NPK műtrágyát adunk őszel, tavasszal pedig N-műtrágyával fejtrágyázunk. Az összetett műtrágyák N és K komponense vízzel oldható, a foszfor egy része citrátoldható.

A *kevert műtrágyák* előnye, hogy a tápelemarányok szabadon változtathatók, így elvben alkalmasabbak a különböző növényfajok speciális igényének kielégítésére, mint az összetett műtrágyák. Használatuk agrokémiai előnye az összetett műtrágyákéhoz hasonló. A gazdasági előny abban jelentkezik, hogy a három tápelem együtt juttatható ki.

A kevert műtrágyák az említett előnyök ellenére sem terjedtek el szélesebb körben hazánkban, mivel a mezőgazdasági üzemben nem teljesíthetők maradéktalanul a keverés fizikai és kémiai feltételei. Az iparban előállított kevert műtrágyák pedig kis N-tartalmú, illetve kedvezőtlen arányban tartalmazza a három fő tápelemet.

A *folyékony műtrágyák* gyártása és felhasználása világszerte növekedett az 1970-es 80-as években. *Alkalmazásuk előnye*, hogy a tápelemek vízben oldva, illetve szuszpendálva–megfelelő gépekkel–egyenletesebben juttathatók ki, mint szilárd állapotban.

A folyékony műtrágyák használata jelentős járulékos beruházással (keverő, tároló, szállító, adagoló berendezések) jár együtt. Használatuk kevesebb kézi munkaerőt, de sokkal nagyobb műszaki felkészültséget igényel.

A folyékony műtrágyák egy részénél költség és energia takarítható meg, ha a műtrágyagyártás közbülső termékeit (cseppfolyós ammónia, vizes ammónia, karbamid–ammónium-nitrát vizes oldata) használják fel. Ez a gazdasági előny hazánkban csak részben érvényesül, mivel többnyire szilárd műtrágyák újraoldásával állítanak elő folyékony műtrágyákat.

Az összetett, kevert és folyékony műtrágyák hatékony felhasználásának előfeltétele, hogy a trágyázandó kultúráknak leginkább megfelelő tápanyag-arányokkal alkalmazzuk őket. A felsorolt műtrágyák kizárólag alaptrágyaként, talajba bemunkálva használhatók.

#### Kérdések

1. Melyek az összetett műtrágyák alkalmazásának előnyei és hátrányai?
2. Melyek a kevert műtrágyák alkalmazásának előnyei és hátrányai?
3. Melyek a folyékony műtrágyák alkalmazásának előnyei és hátrányai?
4. Milyen célra, illetve hogyan használhatók fel a felsorolt műtrágyák?

## 7. Talajjavító-anyagok és mésztrágyák

A kémiai talajjavítás célja a kedvezőtlen kémhatású, illetve nem megfelelő fizikai és kémiai tulajdonságú talajok javítása. A *savanyú talajok javítására* kalcium-karbonátot, vagy kalcium-karbonát tartalmú javítóanyagokat használnak. A *lúgos kémhatású és szikes* talajokat gipsz, vagy egyéb savanyúan hidrolizáló anyagokkal javítják.

A *mésztrágyázás* kis adagú kalcium-karbonát pótlása a talajok savanyodásának megelőzésére, illetve a javításra szoruló talajokon a savanyúság mérséklése és a Ca-hiány csökkentése.

### 7.1. Talajjavító anyagok

A kémiai talajjavítás céljaira a természetben előforduló Ca-tartalmú javítóanyagok, valamint ipari melléktermékek használhatók.

#### 7.1.1. Mészkeő

Csak finomra őrlve használható. Kalcium-karbonát tartalma legalább 80 % legyen. A *tiszta mészkeő* 90-95 % kalcium-karbonátot, néhány % magnézium-karbonátot és kevés szilikátot tartalmaz. A mészkeő oldódása és hatása az őrlésfínomságtól függ. A Magyar Szabvány előírásai szerint az őrlt mészkeőpor szemcsemérete 1 mm-nél kisebb kell legyen, a 0,28 mm-nél nagyobb szemcsék részaránya nem érheti el a 20 %-ot.

#### 7.1.2. Mésztufa (lágymészkeő)

A természetben előforduló *lágymészkeők* lényegesen könnyebben őrlhetők. A talajban könnyebben oldódnak, ezért az őrlésfínomsággal szemben kisebbek a követelmények, mint a kemény mészkeőnél. Legalább 70 % kalcium-karbonátot kell tartalmazniuk, a fennmaradó rész magnézium-karbonát és szilikátok.

#### 7.1.3. Lápi mész (tavi mész)

Laza üledékek, melyek őrlés nélkül, természetes állapotban, közvetlenül felhasználhatók. Fínomszemcsés, gyors hatású javítóanyagok.  $\text{CaCO}_3$  tartalmuk 30-40 %. Kedvezőtlen tulajdonságuk, hogy sok vizet tartalmaznak, így szállításuk nagyobb távolságra nem gazdaságos.

#### 7.1.4. Meszes lápföld

Hazai síkláp területeinken gyakran előforduló javítóanyag. Hatóanyag-tartalma kicsi (20-30 %  $\text{CaCO}_3$ ), így csak a lelőhely közelében használható fel gazdaságosan. Szervesanyag-tartalma 5-15 %, ez a tulajdonsága különösen kolloidokban szegény, laza talajok javítására teszi alkalmassá.

#### 7.1.5. Dolomitőrlemények

Savanyú, Mg-ban szegény talajokon használhatók javításra, a Ca és Mg együttes pótlására. A legtöbb dolomitféleség csak finomra őrlve hasznosul. Kivételt képeznek az úgynevezett "önporló" dolomitok, melyek sajátos képződési viszonyok, hidrotermális hatások következtében igen finomszemcsésék. A dolomitok változó arányban tartalmaznak Ca- és Mg-karbonátot, Mg-tartalmuk 10-13 %. Ezért réti, szikes és egyéb nagy Mg-tartalmú talajokon nem használhatók javítóanyagként. Önporló dolomitot a Dunántúlon Pátyon és Padragkúton termelnek ki.

#### 7.1.6. Gipsz

Lúgos kémhatású talajok javításához gipsz ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) szükséges. A hazai előfordulású perkupai gipsz ezzel szemben gipsz és anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ) keveréke. Finomra őrölt állapotban vizet vesz fel, összetapad, ezért csak igen korlátozott mennyiségben kerül mezőgazdasági felhasználásra. Felhasználható az extrakciós foszforsavgyártás mellékterméke, az úgynevezett *foszforgipsz* is.

#### 7.1.7. Cukorgyári mésziszap

Az ipari melléktermékek közül legfontosabb és legkedvezőbb hatású meszező anyagunk a cukorgyári mésziszap, melyet széles körben használnak savanyú talajok javítására. A cukorgyártás során a répalé derítésénél finom eloszlású kalcium-karbonát formában keletkezik. Hatóanyagtartalma változó, víztartalmától függ. Talajjavításra a már megszikkadt, jól szórható mésziszapot használják, ennek  $\text{CaCO}_3$  tartalma kb. 40-50 %. A cukorgyári mésziszap kedvező hatását a  $\text{CaCO}_3$ -on kívül jelenlévő egyéb anyagok biztosítják. A mésziszap mintegy 0,5-1,0 %-nyi mennyiségben tartalmaz nitrogént, foszfort, káliumot. Szervesanyag-tartalma 10-15%.

#### 7.1.8. Egyéb ipari melléktermékek

A papírgyártás, acetiléngyártás és bőrgyártás során keletkező mésziszap felhasználása nagy körültekintést igényel, mivel a papíripari iszap klórtartalmú, a karbid mésziszapból pedig acetilén keletkezhet, mely a csírázást gátolja. Ezért e javítóanyagok vetés előtt közvetlenül nem használhatók. A bőrgyártásnál képződő iszap sok nátriumvegyületet tartalmaz, ezért felhasználási területe korlátozott. Csak erősen kilúgzott, savanyú talajok javítására használható, előzetes engedélyezés alapján.

### 7.2. Mésztrágyák

Mésztrágyázásra olyan kalcium-karbonát tartalmú anyagok használhatók, melyek a meszet finom eloszlásban tartalmazzák és jól szórhatók. A szórhatóság alapfeltétele a kis nedvességtartalom. Nem tartalmazhat káros hatású kísérő anyagokat.

Mésztrágyázásra legalkalmasabb a Péti Nitrogénműveknél az összetett műtrágyagyártás melléktermékként keletkező *Péti mész*. A kalcium-nitrát konvertálása során képződik, hatóanyagtartalma 84 %  $\text{CaCO}_3$ . Felhasználható ezen kívül bármely javítóanyag, mely az általános követelményeknek eleget tesz.

## Kérdések

1. Milyen talajjavító anyagokat ismer? Jellemezze tulajdonságaikat, hatóanyag-tartalmukat!
2. Milyen tulajdonság határozza meg alapvetően a mészkő- és dolomitörlemények hatékonyságát?
3. Milyen ipari melléktermékek használhatók fel talajjavításra?
4. Milyen anyagok használhatók mésztrágyázásra?

## 7.3. Mésztrágyázás, kémiai talajjavítás

### 7.3.1. Mésztrágyázás

A műtrágyázás, az intenzív talajhasználat, és a savas esők hatására végbemenő kilúgzási folyamatok csökkentik a talajok oldható Ca-tartalmát, fokozzák a savanyúságot. A terméssel évente elvont Ca mennyisége *gabonaféléknél* 15-30, *kapásoknál* 50-90, *pillangósoknál* 150-200 kg/ha. A növények Ca ellátása karbonátos és telített talajokon zavartalan. A kis adszorpciós kapacitású, savanyú homoktalajokon kicsi a  $\text{Ca}^{2+}$ -ion koncentráció a talajoldatban, ezért e talajokon a növények táplálása szempontjából is fontos a Ca utánpótlás. A kis pufferkapacitású talajokon a savanyító hatások erőteljesebben érvényesülnek.

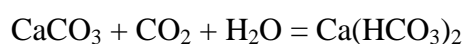
A növények *Ca-igényének* egyrészét a szuperfoszfát illetve annak gipsztartalma fedezi. A talajsavanyúság megszüntetésére azonban kalcium-karbonátot, vagy kalcium-karbonát tartalmú anyagokat kell adnunk. Ez történhet mésztrágyázással és kémiai talajjavítással.

A kis adagú (0,5-2,0 t/ha  $\text{CaCO}_3$  nagyságrendű) *mésztrágyázás* célja a talajok savanyodásának megelőzése, illetve a savanyú talajok aciditásának mérséklése, a Ca-hiány csökkentése. A nagyobb műtrágyaadagok valamennyi karbonátmentes talajon szükségessé teszik a műtrágyák savanyító hatásának ellensúlyozását mésztrágyázással.

### 7.3.2. Kémiai talajjavítás

A *kémiai talajjavítás* célja a talajok kedvezőtlen fizikai, kémiai tulajdonságainak megváltoztatása, ami csak lényegesen nagyobb adagokkal érhető el. A savanyú talajok javítására általában 5-20 t/ha kalcium-karbonátot tartalmazó javítóanyagot használnak fel.

A *savanyú talajok* javítása *kalcium-karbonáttal* azon alapszik, hogy a kalcium-karbonát szénsavas vízben kalcium-hidrogén-karbonáttá alakul:



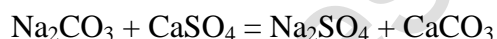
A lúgosan hidrolizáló kalcium-hidrogén-karbonát a talajoldat savanyú kémhatását tompítja. A vegyület disszociációjában keletkező  $\text{Ca}^{2+}$ -ionok adszorbeálódnak a kolloidokon megkötött  $\text{H}^+$ -

ionok helyén. A deszorbeálódott  $H^+$ -ionok a  $HCO_3^-$ -ionokkal szénsavat képeznek. A savanyú talajok pH-ját ásványi talajok esetében nem célszerű 6,5 fölé emelni, mert ez a mikroelem-ellátásban okozhat zavart. A javítóanyag adagok megállapítása a hidrolitos aciditás és a kötöttség alapján történik.

A kolloidokon adszorbeált kalciumionok a kolloidokat *koagulálják*, morzsaelemek képződését teszik lehetővé, melyek megfelelő szerves ragasztóanyagok jelenlétében morzsákká állnak össze. A savanyú kémhatás megszűnése kedvezően hat a növények tápanyag-felvételére és a talaj mikrobiológiai életére. A morzsás szerkezet kialakulása jobb levegő- és vízgazdálkodást biztosít, ami ugyancsak kedvezően befolyásolja a növények tápanyag-gazdálkodását és a tápanyag-gazdálkodás szempontjából fontos mikrobák élettevékenységét is.

Savanyú talajokon, a hidrolitos aciditás ( $y_1$ ) és a talajok kötöttsége alapján *számított* dózisoknál kisebb adagokkal is kedvező hatás érhető el. A *kisadagú meszezés* nagyobb területek eredményes javítását teszi lehetővé a korlátozott mennyiségben rendelkezésre álló jó minőségű javítóanyagokkal. A kémiai talajjavítás *hatása* a javítóanyag dózis nagyságától és a talajtulajdonságoktól függően 5-15 évig érvényesülhet. A már egyszer javított területek újbóli elsavanyosodását megakadályozó kisadagú meszezést, *fenntartó meszezésnek* nevezzük.

*Lúgos* kémhatású talajok javítására gipszet használnak. A javító hatás azon alapszik, hogy a gipsz karbonátos talajon (lúgos szikesen) is jól oldódik. Az oldatban jelenlévő nátrium-karbonáttal kémiai reakcióba lép:



A gipsz disszociációjából származó  $Ca^{2+}$ -ionok pedig kicserélik a kedvezőtlen hatású  $Na^+$ -ionokat is az adszorpciós felületről. A javítás eredményessége nagymértékben függ attól, hogy az előző kémiai reakcióban képződő nátrium-szulfát, illetve az ioncsere során felszabaduló  $Na^+$ -ionok ki tudnak-e mosódni.

A lúgos kémhatású talajok javítására felhasználhatók más savanyúan hidrolizáló sók is, valamint kéntartalmú anyagok, pl. lignit, melyekből mikrobiológiai oxidációban kénsav, illetve szulfátok képződnek. A javítóanyag szükségletet kationcsere vizsgálatok és ülepitési próbák alapján állapítják meg.

A kémiai talajjavítás csak a megfelelő tápanyag-ellátáshoz szükséges trágyázással egybekötve eredményes, mint ahogy a trágyázás hatása is függ a talaj kémhatásától. Éppen ezért a talajjavítás és trágyázás két egymástól el nem választható agrotechnikai művelet, melyet mindig összhangban kell végrehajtani.

## Kérdések

1. Mi a mésztrágyázás és kémiai talajjavítás célja?
2. Min alapszik a savanyú, illetve lúgos talajok javítása? Hogyan állapítják meg a javítóanyag-szükségletet?
3. Mi a különbség a kisadagú és fenntartó meszezés között?

## 8. Magnéziumtrágyák

Mg-trágyázásra a magnézium-szulfát különböző vegyületei terjedtek el leginkább. A kristályos magnézium-szulfát, vagy *kiserűső* ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) vízben jól oldódó Mg-vegyület, mely levéltrágyázásra és talajtrágyázásra egyaránt felhasználható. Az ásványi eredetű *Kieserit* ( $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) oldhatósága valamivel kisebb, mint a kristályos magnézium-szulfaté, hatóanyagtartalma viszont nagyobb.

A talaj Mg-tartalmának pótlásában fontos szerepük van a Mg-tartalmú N-, P-, K-műtrágyáknak és talajjavító anyagoknak is. Néhány műtrágya és javítóanyag Mg-tartalmát a 42. táblázat tartalmazza.

42. táblázat **Magnéziumtartalmú műtrágyák és javítóanyagok Mg-tartalma**

Műtrágya, javítóanyag	Mg %
Kiserűső	10
Kieserit	17
Agronit	2
Kardonit	5
Mg-ammónium-foszfát	14
Korn-Kali	4
Magnesia Kainit	3
Patent-Kali	6
Plantosan 4 D	3,6
Volldünger Linz	0,6
Dolomit	10-13

A hazai gyártású *N-műtrágyák* közül az Agronit és a Kardonit tartalmaz kiserűső sóként magnéziumot.

Az *Agronit* ammónium-nitrátból és dolomitból előállított mészammonsalétrom. A *Kardonit* karbamid és dolomit keveréke. Mindkettő a BVK terméke.

A *összetett műtrágyák* közül a magnézium-ammónium-foszfát használható magnéziumtrágyaként.

A *Korn-Kali*, és a *Patent-Kali* Mg-tartalmú K-műtrágyák. Mindkettőt használják a burgonya, cukorrépa, gyümölcs- és zöldségtermesztésben, mivel a felsorolt kultúrák a káliumot és magnéziumot egyaránt igénylik. A *Volldünger Linz* Mg-tartalmú N, P, K műtrágya.

A talajjavító anyagok közül a *dolomit*, illetve *dolomitos mészkövek* tartalmazzak magnéziumot. E javítóanyagok jól használhatók Mg-szegény savanyú talajok javítására. A savanyú kémhatás megszüntetése önmagában is jobb Mg-ellátást biztosít a növényeknek, mivel a Mg felvétele savanyú közegben gátolt.

Az *istállótrágyának* is jelentős szerepe van a magnéziumellátásban, mivel a Mg aránya a többi tápanyaghoz viszonyítva kedvező.

Kérdés

1. Milyen Mg-trágyákat, Mg-tartalmú műtrágyákat, javítóanyagokat ismer? Alkalmazásuk lehetőségei.

### 8.1. Magnéziumtrágyázás

A magnéziumhiányos talajokon a növények *Mg-tartalma* és a *termés* is növelhető Mg-trágyázással. A Mg elősegíti a szénhidrátok képződését, ezért a burgonya, cukorrépa, gyümölcs és szőlő minőségét kedvezően befolyásolja. Réteken és legelőkön az állatok Mg ellátása szempontjából is fontos a Mg-trágyázás. A Mg említett hatása Mg-szegény talajokon is csak megfelelő NPK ellátás mellett érvényesül.

A *Mg-hiány* az intenzív talajhasználattal, a talajok savanyodásával, kilúgzódásával fokozódik. Az országos talajvizsgálat adatai szerint a hazai talajok nagy része Mg-mal jól és csak mintegy 10 % gyengén, illetve közepesen ellátott. Viszonylag nagy kiterjedésben fordulnak elő Mg-hiányos talajok a Nyírségben és Somogy megyében, ezeken a Mg-pótlásáról feltétlenül gondoskodni kell.

*Magnéziumtrágyázásra* elsősorban a vízzoldható vegyületek (*keserűső*, *Kieserit*) javasolhatók. Savanyú talajokon felhasználhatók a dolomit tartalmú műtrágyák is (Agronit, Kardonit). A Mg-tartalmú K-műtrágyák (Kornkáli, Patentkáli stb.) előnye, hogy hatóanyaguk vízzoldható. A Mg-igényes kultúrák rendszerint K-igényesek is, így a két elem együttes pótlása nem okoz aránytalanságot az ellátásban.

A felsorolt Mg-trágyák közül a keserűső ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) *permetező* trágyázásra is alkalmas 5 %-os oldat formában. A permetező trágyázás a gyümölcs- és szőlőtermesztésben egyaránt alkalmazható. A gabonaféléknél is kimutatták kedvező hatását. A kalászosok időszakában alkalmazva hozzájárul a zászlóslevél életben tartásához és ezen keresztül az ezerszemtömeg növeléséhez.



A különböző szántóföldi kultúrák termésével elvont Mg mennyiséget a 43. táblázat tartalmazza. A trágyázás során egyrészt a növények igényét, másrészt az egyéb tápanyagokkal való ellátást is figyelembe kell venni. A növekvő műtrágyafelhasználás, ezen belül a nagyobb arányú K-adagolás szükségessé teszi a Mg pótlását, különösen Mg-hiányos talajokon és Mg igényes kultúrák esetében.

43. táblázat A terméssel kivont Mg mennyisége (kg/ha)

Növény	Kivont MgO
Gabonafélék	8-14
Cukorrépa	47-56
Takarmányrépa	25-36
Burgonya	25-28
Lucerna	21-28
Hereszéna	38-43
Rétiszéna	20-30

Mg-szegény, savanyú talajokon dolomittal, vagy dolomittartalmú javítóanyagokkal a kémhatás állapot rendezése mellett a talajok Mg-tartalma is növelhető. Erre a célra különösen az úgynevezett "önporló" dolomitok alkalmasak, melyek képződési viszonyaik folytán finomszemcsések és könnyebben oldódnak, mint más dolomitok.

#### Kérdések

1. Hazánkban milyen talajokon, illetve kultúráknál van szükség a Mg pótlására?
2. Milyen vegyület használható permetező trágyázásra?
3. Milyen Mg-vegyület és műtrágyák használhatók a talajtrágyázásra?
4. Milyen talajokon jöhet szóba a dolomitok felhasználása?

## 9. Mikroelemtrágyák

A mikroelemtrágyák *oldhatóságuk* alapján gyors és lassú hatású trágyák csoportjába oszthatók. *Felhasználásuk* szerint megkülönböztetünk talaj- és permetezőtrágyákat, illetve mindkét célra egyaránt alkalmas vegyületeket. A mikroelemtrágyáknak csak egy része alkalmas egy-egy elem célirányos pótlására. Jelentős részük több mikroelemet tartalmazó N, P vagy NPK trágya.

### 9.1. Gyorsan ható mikroelemtrágyák

Tápelemtartalmuk vízzel oldható, ezen alapszik gyors hatásuk. Tulajdonságaik és felhasználásuk alapján az alábbi csoportokba sorolhatók:

- szervesetlen, vízben oldható vegyületek

- kelátok
- mikroelemtartalmú N-, NPK-műtrágyák
- mikroelemtartalmú szuperfoszfát

#### 9.1.1. Szervetlen vízzoldható vegyületek

E vegyületek permetező trágyaként és talajtrágyaként is felhasználhatók. Talajtrágyaként alkalmazva gondot okoz a viszonylag kis mennyiségek egyenletes kijuttatása. Ezért is célszerű a mikroelemeket makroelemtrágyával keverten, vagy vízben oldva kiadagolni.

Leggyakrabban használt vegyületek:

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	9,8 % Fe
$\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	27,0 % Mn
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25,4 % Cu
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	22,8 % Zn
$\text{H}_3\text{BO}_3$	11,3 % B
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11,3 % B
$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	20,5 % B
$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	54,4 % Mo
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	39,6 % Mo

A vas pótlására többnyire csak lúgos talajon van szükség. Általában vas(II)-szulfátot használnak permetező trágyaként. A vas(III)klorid csak stabilizáló adalékkal használható permetező trágyaként, mely a hidrolízisét megakadályozza. A kálium-, vagy nátrium-hexaciano-ferrát(II), illetve (III) és vas(II)-oxalát is alkalmas a vas pótlására. A komplexek használata azért előnyös, mivel fémtartalmuk nem csapódik ki a talajban.

A mangán-szulfát változó kristályvíztartalommal kristályosodhat, amit a hatóanyagtartalom számításánál figyelembe kell venni. Savanyú talajon talajtrágyaként, lúgos talajon permetező trágyaként használják, vagy N-műtrágyával keverve juttatják a talajba.

Réz- és cinktrágyázásra a réz- és cink-szulfát alkalmas. A két vegyületet gyakran együtt alkalmazzák, mivel egymás hatását fokozzák. Talajtrágyaként is felhasználhatók, de érvényesülésük függ a kémhatástól, a réz erősen kötődik a talaj szerves anyagához is.

A bór vízzoldható vegyületei közül korábban a bórsavat és a bóraxot használták. Újabban *Solubor* néven kapható könnyen oldható nátrium-borát, melynek összetétele  $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  összetétellel jellemezhető. B-tartalma 20,5 %. Hazai és külföldi tapasztalatok szerint kedvező bór hatást

érhetünk el, ha a bór-magnéziummal együtt adjuk. Jól használható a bórsavgyártás mellékterméke az ún. bór-magnézium, mely bórsav és magnézium-szulfát keveréke.

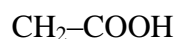
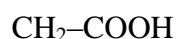
A *molibdén*pótlás szüksége a többi elemmel ellentétben elsősorban savanyú talajon merülhet fel, erre a célra a nátrium- és ammónium-molibdenát egyaránt felhasználható.

### 9.1.2. Kelátok

A kelátok sajátos szerkezetű fémkomplexek. A kelátképző vegyületek datív kötés kialakítására alkalmas kötetlen elektronpárokkal rendelkeznek, polifunkciós ligandumok. Ez teszi lehetővé, hogy fémekkel stabil gyűrűs szerkezetű komplexeket, kelátokat képezzenek. A ligandumok rákollószerűen veszik körül a központi fémiont, ezért beszélünk kelátokról ("chelé" görögül rákolló). A kelátok vízben oldódnak, de kismértékben disszociálnak, emiatt a talajban megőrzik kedvező tulajdonságaikat. Disszociációs állandójuk  $10^{-10}$ - $10^{-20}$  nagyságrendű.

A fémkelátok vízzoldhatóságuk és stabilitásuk következtében *permetező trágyaként* és *talajtrágyaként* egyaránt felhasználhatók. További előnyük, hogy mikroelemtartalmuk lúgos talajban sem csapódik ki, jól érvényesül.

Komplexxépző vegyületeként kezdetben szinte kizárólag amino-polikarbonsavakat használtak. Ezek egyik legismertebb képviselője az etilén-diamin-tetracetsav (EDTA).



A komplex kötés a nitrogénatomok kötetlen elektronpárjai és karboxilcsoportok között alakul ki. A fémkomplex térszerkezetét a 45. ábrán mutatjuk be. Más hasonló polikarbonsav komplexképzők is ismertek.

45. ábra: Zn – EDTA komplex térszerkezete

Az amino-polikarbonsavak nátrium-, vagy káliumsóit használják, mivel ezek vízzoldhatók. A komplexképzők az egyes fémionokkal különböző stabilitású komplexeket képeznek, emiatt a fémek egymást kiszoríthatják a komplexképzőről.

Talajtrágyaként a nagy stabilitású komplexek eredményesen használhatók. Levéltrágyázás céljára a kisebb stabilitású komplexek is megfelelnek, előnyük, hogy könnyebben vehetők fel a levélen keresztül.

Hazánkban különböző komplexképzők felhasználásával több mikroelemtartalmú termékcsaládot fejlesztettek ki, illetve állítanak elő.

N é v	komplexképző
PERETRIX	EDTA
FOLISOL	glicin-citromsav
MIKROMIX	karbamid-származék
VOLIGOP	citromsav–borkősav
FITOHORM	glicin-származék

A komplexek stabilitása az alábbi sorrendnek felel meg:

EDTA >> glicin–citromsav ≥ citromsav – borkősav >  
> citromsav–ecetsav > glicin-származék > karbamid származék

A komplexképzőből és mikrotápelemekből álló fémkomplexek lehetnek egy-egy elemet tartalmazó *monokelátok* és több tápelemet tartalmazó *polikelátok*. A mikrotápelemek célirányos pótlására csak a monokelátok alkalmasak. A polikelátokat specifikus összetétellel egy-egy kultúra mikroelemtrágyázására javasolják.

Az *EDTA* komplexek hazai gyártása a Peremartoni Vegyipari Vállalatnál valósult meg. *Peretrix* márkanéven makro- és mikroelemtartalmú oldatokat, valamint egyedi fémkelát levéltrágya-oldatokat állítanak elő.

*Peretrix monokelátok*

Bór oldat	1,0 % B
Cink oldat	3,8 % Zn
Kobalt oldat	4,0 % Co
Magnézium oldat	2,4 % Mg
Mangán oldat	4,0 % Mn
Molibdén oldat	1,2 % Mo
Réz oldat	4,1 % Cu
Vas oldat	4,0 % Fe

A *glicin-citromsav* alapú mono- és polikelátokat a Budapesti Vegyiművekben gyártják *Folisol* márkanéven. Összetételüket a 44. táblázat tartalmazza. A *monokelátok* talaj- és permetező trágyaként egyaránt felhasználhatók, a növény-specifikus *polikelátok* használata permetező trágyaként javasolt.

44. táblázat **Folisol monokelátok**  
**(Glicin-citromsav)**

Megnevezés	Hatóanyag-tartalom %
Folisol Cu	5,0
Folisol Fe	5,0
Folisol Mg	2,0
Folisol Mn	4,5
Folisol Zn	5,0

#### Folisol polikelátok

Megnevezés	Hatóanyag-tartalom %					
	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
Folisol gabona	0,15	<b>0,45</b>	0,3	0,3	0,15	-
Folisol kukorica	0,15	0,45	<b>0,6</b>	0,3	0,15	-
Folisol cukorrépa	0,30	0,30	0,3	0,3	<b>0,90</b>	-
Folisol burgonya	0,15	<b>0,60</b>	0,15	0,3	0,15	-
Folisol őszibarack	<b>1,12</b>	0,37	0,37	0,15	0,30	0,00015

A *Mikromix* termékcsaládot a Péti Nitrogénművekben állítják elő. Komplexképzőként a karbamid-N-N'-bis-(2-hidroxi-5-szulfobenzil)-Mg sóját használják fel. A mono- és polikelátok összetétele a 45. táblázatban található. *Felhasználásuk* a karbamid komplex kis stabilitása miatt csak levéltrágyaként javasolható.

#### 45. táblázat **Mikromix monokelátok** (Karbamid)

Megnevezés	Hatóanyag-tartalom %
Mikromix Cu	5,0
Mikromix Fe	5,0
Mikromix Mg	5,0
Mikromix Zn	5,0

45. táblázat folytatása

**Mikromix polikelátok**

	Hatóanyag-tartalom (%)						
	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
Mikromix kalászos	-	-	<b>2,0</b>	1,75	0,5	0,5	0,1
Mikromix kukorica	-	-	1,4	<b>2,6</b>	0,5	0,4	0,1
Mikromix burgonya	-	-	<b>2,75</b>	1,25	0,4	0,5	0,1
Mikromix cukorrépa	-	-	1,50	<b>2,00</b>	0,5	0,9	0,1
Mikromix lucerna	3,8	-	-	3,0	<b>9,6</b>	-	-
Mikromix rét-legelő	-	-	<b>3,3</b>	1,0	0,25	0,4	0,05
Mikromix szőlő	-	<b>3,45</b>	0,65	0,4	0,35	0,1	0,05

Kérdések

1. Mit nevezünk gyorsan ható mikroleltrágyának?
2. Melyek a fontosabb szervesen vízzoldható vegyületek?
3. Milyen komplexképzőket ismer? Jellemezze tulajdonságaikat és általában a kelátokat!
4. Milyen komplexképzők felhasználásával készülnek a Peretrix, Folisol, Mikromix termékcsaládok tagjai?
5. Mire használhatók a mono- illetve polikelátok?

*9.1.3. Mikroelemtartalmú N és NPK permetező trágyák*

A permetező trágyák lehetnek NPK oldatok, vagy mikroelemtartalmú N, illetve NPK készítmények. Utóbbiak vízzoldható vegyületek, vagy koncentrált oldatok, melyeket hígítva használunk. A permetező trágyák a mikroelemeket komplex kötésben tartalmazzák.

A *Tomasol* levéltrágyák változó összetételű NPK oldatok, melyek vagy önmagukban, vagy a *Folisol* fémkelát oldatokkal keverve használhatók. Mindegyik a Budapesti Vegyiművek terméke.

Összetételük a következő:

	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Tomasol	5	20	10
Tomasol B	4	8	16
Tomasol K	-	20	5

A *Mikramid* szilárd halmazállapotú műtrágya, mely karbamidból és mikroelemekből (Fe, Mn, Cu, Zn, B és Mo) áll. Hatóanyagtartalma: 45 % N, 0,4 % K<sub>2</sub>O, 3 % mikroelem komplex kötésben. Talaj- és levéltrágyaként is felhasználható.

A *bór-karbamid* 2,5 % B-t és 14 % N-t tartalmazó oldat, s hígítva használható.

A *Wuxál* mikroelemtartalmú NPK oldat, összetétele:

9 % N            9 %  $P_2O_5$             7 %  $K_2O$

A mikroelemek (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo) kelátok formájában vannak jelen a tömény oldatban, amely növekedésserkentő anyagot ( $\beta$ -indolil-ecetsavat) és B<sub>1</sub>-vitamint is tartalmaz. Permetezésre 0,1-0,3 % koncentrációban használják.

A *Wuxál szuszpenziós levéltrágya* többféle összetételben készül, NPK-tartalma nagyobb, mint a normál Wuxálé, ezenkívül Mg-ot is tartalmaz. Egy-egy mikroelem kiemelt koncentrációban szerepel, a többi mikroelem mennyisége a standard kivitelnek megfelelő.

A *Peretrix* F<sub>x,y,z,m</sub> oldat makro- és mikroelemeket változó összetételben tartalmazó levéltrágya. A megjelölésben

x = a névleges N-tartalom, N %-ban

y = a névleges P-tartalom,  $P_2O_5$  %-ban

z = a névleges K-tartalom,  $K_2O$  %-ban

m = a névleges összes mikrotápelem-tartalom

Az oldat a mikroelemeket EDTA komplexben tartalmazza. Gyártó Peremartoni Vegyipari Vállalat.

A *Volldünger Linz* makro- és mikroelemeket tartalmazó kristályos anyag. Összetétele:

14 % N            7 %  $P_2O_5$             21 %  $K_2O$

1 % MgO            1 % mikroelem (Fe, Mn, Cu, Zn, Co, B)

A műtrágya neve (teljes trágya) arra utal, hogy a legfontosabb makro- és mikroelemeket egyaránt tartalmazza. Felhasználása elsősorban a szőlő és gyümölcsstermesztésben valamint a zöldségstermesztésben javasolt. Permetező trágyaként kultúránként eltérő koncentrációkban (0,2-1,5 %) használható. Szilárd formában a talajba is munkálható.

A *Voligop* készítmények *nitrogén alapú*, makro- és mikroelemtartalmú levéltrágyák. Valamennyi termék 16,3 % nitrogént tartalmaz, (karbamid, illetve ammónium-szulfát formájában), továbbá makro- és mikroelemeket is. A változó elemek közül egy mindig nagyobb koncentrációban fordul elő, a levéltrágya felhasználási területe ennek megfelelő. A készítmények nagyobb része oldat, kisebb része szilárd termék. A komplexképző citromsav–borkősav.

A *Fitohorm* termékcsalád makro- és mikroelemtartalmú, bioaktív anyagokat is tartalmazó készítményekből áll. A termékek részben egy-egy elem pótlására alkalmas monokelátok, részben különböző kultúrákhoz ajánlott polikelátok. A komplexképző minden esetben: glicin származék.

A Fitohorm készítmények *hormonhatású* adalékot (citokininek, indometacin, tiamin) is tartalmaznak, illetve az adalékok egy részét (giberellin, indol-vajsav, indol-ecetsav) kevés vízben oldva felhasználáskor kell az oldatokhoz hozzáadni.

A *Zeafert* kukorica levéltrágya, amely mikroelemeket, aminosavakat, giberellinsavat és vitaminokat tartalmaz.

#### 9.1.4. Mikroelemtartalmú szuperfoszfát

A makroelemtrágyák kiegészítése mikroelemekkel azzal az előnnyel jár, hogy a viszonylag kis mennyiségben szükséges mikroelem vegyületek egyenletes kiszórása így jobban biztosítható, mint önmagukban. A makroelem-trágyák közül a szuperfoszfát mikroelem kiegészítése terjedt el széles körben. A szuperfoszfát mindig tartalmaz valamennyi szabad savat, ami a mikroelemtartalom oldódását még lúgos talajon is lehetővé teszi.

Előállításának legegyszerűbb módja a szuperfoszfát és mikroelem vegyületek keverése. Erre a célra mikroelemtartalmú ásványi anyagok, vagy ipari hulladékok egyaránt alkalmasak. A mikroelemek a szuperfoszfát szabad savtartalmában oldódnak.

Az adalékokat olyan mennyiségben kell a szuperfoszfáthoz adni, hogy annak szabad savtartalma ne csökkenjen 1,5-2 % alá. Így a szuperfoszfátban 1-2 % vízoldható mikroelemtartalom érhető el. A Tiszamenti Vegyiművekben B-tartalmú szuperfoszfátot, illetve kevert PK műtrágyát állítottak elő (10 %  $P_2O_5$ ; 24 %  $K_2O$ ; 0,2 % B).

#### Kérdések

1. Milyen N-, illetve NPK alapú mikroelem-trágyákat ismer?
2. Miben különböznek a Tomasol, Mikramid, Volldünger Linz, Peretrix, a Wuxál, Voligop, Fitohorm, illetve Zeafert készítményektől?
3. Miben különbözik a mikroelemtartalmú szuperfoszfát és a mikroelemtartalmú ammonizált szuperfoszfát?

#### 9.2. Lassan ható mikroelemtrágyák

Jellemző tulajdonságuk, hogy mikroelemtartalmuk vízben kis mértékben oldódik, oldódásuk a talajban lassú, ezért hatásukat csak lassan fejtik ki.



A lassan ható műtrágyákhoz tartoznak:

- Fém-ammónium-foszfátok
- Mikroelemtartalmú ammonizált szuperfoszfát
- Mikroelemtartalmú kálium-metafoszfát
- Egyéb lassan ható mikroelemtrágyák

A felsorolt műtrágyák mikroelemtartalma 2 %-os citromsavban teljes egészében feloldódik. Ismerünk ezen kívül *mikroelemtartalmú képező* anyagokat, amelyek mikroelemtartalma még citromsavban sem oldódik.

#### 9.2.1. Fém-ammónium-foszfátok

A magnézium-ammónium-foszfát előállításához hasonlóan egyéb kétértékű fémekből (Fe, Mn, Cu, Zn, Co) is lehet fém-ammónium-foszfátokat előállítani  $\text{MeNH}_4\text{PO}_4$  összetétellel. A fém-ammónium-foszfátok fém- és foszfortartalma jelentős. A fémek mennyisége a fém atomtömegétől függően 16-36 % között ingadozik. Foszfortartalmuk 36-46 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ , nitrogéntartalmuk 7-9 % N (4

A különböző fémek pótlására előállíthatók az egyes fém-ammónium-foszfátok. Előállítják ezenkívül a *mikroelemtartalmú magnézium-ammónium-foszfátot* is, mely csak kis mennyiségben tartalmazza a mikroelemeket. Általában a következő összetétellel gyártják: 8 % N, 45 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 15 % Mg, 1-3 % mikroelemtartalom.

#### 9.2.2. Mikroelemtartalmú ammonizált szuperfoszfát

A mikroelemtartalmú szuperfoszfát vízoldható mikroelemtartalma ammonizálás hatására fokozatosan csökken, mivel az ammonizálás mértékének megfelelően a vízoldható fém-foszfátok citromsav oldható foszfátokká alakulnak át.

A szuperfoszfát mikroelemvegyületek jelenlétében számottevő foszfátreverzió nélkül ammonizálható, ez teszi lehetővé a citromsavban oldható mikroelemtartalmú szuperfoszfát előállítását.

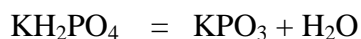
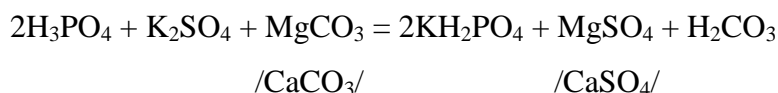
A műtrágya összetétele a mikroelem adaléktól függően változik. Pl.:

$\text{P}_2\text{O}_5 = 15,5 \%$	$\text{Cu} = 0,30 \%$
$\text{N} = 6,1 \%$	$\text{Mn} = 0,25 \%$
$\text{Mg} = 0,5 \%$	$\text{Mo} = 0,15 \%$
$\text{Zn} = 0,4 \%$	$\text{Co} = 0,10 \%$

### 9.2.3. Mikroelemtartalmú kálium-metafoszfát

A kálium-metafoszfát előállítására közölt eljárásokkal mikroelemtartalmú kálium-metafoszfát is előállítható, ha a kiinduló anyagként szolgáló kálium-kloridhoz vagy kálium-szulfáthoz mikroelemsókat is adunk. Az így előállított műtrágya a mikroelemeket vízzel oldható formában tartalmazza.

Lassan ható mikroelemtartalommal rendelkező kálium-metafoszfát előállítására magyar kutatók dolgoztak ki eljárást. Az eljárás reakció egyenletei:



A műtrágya mikroelemtartalma változtatható, általában néhány tízed százalék mikroelemet tartalmaz. A makro- és mikroelemtartalom zöme citrát-oldható.

### 9.2.4. Egyéb lassan ható mikroelemtrágyák

Ide tartoznak a *lassított hatású* mikroelemtrágyák. A mikroelem-tartalom lassú oldódását vagy a műtrágyaszemcsék *bevonásával*, vagy azzal érik el, hogy a vízzel oldható vegyületeket *adszorbensekhez* kötik.

*Lassan oldódó bevonat* képződik, pl. fémoxidok és fém-szulfátok egymásra hatásával. A műtrágyák oldódása műanyagbevonattal is lassítható.

*Mikroelemek megkötése adszorbenseken.* A mikroelem-vegyületek oldatát különböző adszorbensekre (lignin, tőzeg, lignit, aktív szén, agyagásványok, esetleg kation- vagy anioncserélő műgyanta) viszik, és szükség szerint szárítják. A talajban a mikroelemtartalom lassan, fokozatosan oldódik, illetve szabadul fel.

A *mikroelemtartalmú* képező anyagok a kifejezetten mikroelemhiányos talajok trágyázására szolgálnak. Ilyenek a fémfeldolgozó ipar hulladékai, amelyeket vagy közvetlenül használnak fel vagy koncentrált fémtrágyákat állítanak elő belőlük. Hosszú időn át folyamatosan ellátják a növényeket mikroelemekkel.

Hasonló tulajdonságúak az üvegyártás melléktermékei, illetve az ezekből előállított szemcsés üvegtrágyák, *frittek*. Ismertek ezen kívül habosított szilikát alapú mikroelemtrágyák is, melyek vizet is képesek tárolni.

## Kérdések

1. Melyek a lassan ható mikroelemtrágyák, hogyan használhatók fel?
2. Melyek a lassított hatású mikroelemtrágyák, illetve mikroelem-tartalékot képező anyagok?

### 9.3. Mikroelemtrágyázás

A mikroelemtrágyák megválasztásánál az alábbi szempontokat kell figyelembe venni:

A mikroelemek *felvétele*, illetve vegyületeik *oldhatósága* nagymértékben függ a talaj *kémhatásától*. A Mo kivételével a savanyú kémhatástartományban jobban felvehetők. A talajba juttatott oldható mikroelem vegyületek többsége a lúgos kémhatású talajban nehezen oldható vegyületekké alakul és a növények számára csak részben hozzáférhető. Kivételt képeznek a kelátok, ezért ezek használhatók talajtrágyaként.

Az oldhatósági viszonyok következtében savanyú talajon nagy a *túladagolás veszélye*, mivel a növények csak kis mennyiségben igénylik a mikroelemeket és a nagy dózisok *toxikus* hatásúak lehetnek.

Lúgos talajon pedig a csökkent felvétel okozhat problémákat. Ezért az ásványi talajok meszezésénél a pH-értéket nem célszerű 6,5 fölé, a nagy szervesanyag-tartalmú talajokon pedig 6,0 fölé emelni, mert ez zavarokat okozhat a mikroelemellátásban.

Az eddigiekből következik, hogy *lúgos* talajon a vízdoldható mikroelemtrágyáktól csak mérsékelt hatás várható, mivel nagyrészt átalakulnak oldhatatlan vegyületekké. *Savanyú* talajon viszont helyesen kell a dózisokat megválasztani, mert a könnyen oldódó vegyületek savanyú kémhatás mellett, nagy koncentrációban alkalmazva *káros* hatást válthatnak ki. Ezeken a talajokon a vízdoldható trágyák helyett a gyenge savakban oldható, lassú hatású mikroelemtrágyák használata javasolt.

A növények mikroelem ellátásáról *lúgos* kémhatású talajon *kelátokkal* vagy *permetező trágyázással* gondoskodhatunk. A mikroelemeket oldat formában a növényzetre permetezve, kiküszöbölhetjük a talaj kémhatásának kedvezőtlen hatását. A permetező trágyázáshoz vízdoldható vegyületekre van szükség. A kelátok talaj- és permetező trágyaként egyaránt felhasználhatók. Permetező trágyázásra az egyszerű szervesetlen vízdoldható vegyületek is alkalmasak.

A *Fe pótlásáról* csak karbonátos talajon kell gondoskodnunk, mivel e talajokból a növény a Fe-t nem tudja felvenni. Fe-hiány tüneteket többnyire szőlőn és gyümölcsfákon figyeltek meg. Hazánkban elsősorban a Balaton vidéki szőlőkben, de más borvidékeken is előfordul. A talaj

trágyázása szervesetlen Fe-sókkal általában nem jár eredménnyel, mivel a talajtulajdonságok következtében a Fe-ionok kicsapódnak. Így a Fe pótlása csak permetező trágyázással vagy kelátok alkalmazásával lehetséges.

A *Mn-hiány* ritka Magyarországon, savanyú talajokon éppen ellenkezőleg *toxikus* mennyiségek oldódhatnak. Nagy szervesanyag-tartalmú talajokon fémadszorpció révén kötődhet meg, karbonátos talajokon pedig a kémhatásviszonyok akadályozhatják felvételét. Lúgos kémhatású talajokon a mangán-szulfátot savanyúan ható N-műtrágyákkal célszerű a talajba juttatni, vagy permetező trágyákat alkalmazni.

A *Cu-hiánya* is nagy szervesanyag-tartalmú talajokon, továbbá olyan homokos podzoltalajokban fordul elő, melyek összes Cu-tartalma kicsi. Az említett talajokon, továbbá karbonátos talajokon, ahol a felvétel korlátozott szükség szerint Cu-trágyázás alkalmazható pl. gabonaféléknél.

A *Zn-hiánya* is többnyire a kedvezőtlen felvételi viszonyok következménye. A már említett tényezőkön kívül a nagy foszfor túlsúly is indukálhatja. A Zn pótlása a kukoricánál válhat szükségessé, talaj és permetező trágyázás egyaránt alkalmazható.

A *Mo* a legtöbb talajban kellő mennyiségben fordul elő. Pótlása esetenként válhat szükségessé savanyú talajokon, ahol anionadszorpció révén megkötődik. A Mo-hiány savanyú talajon meszezéssel megszüntethető. A Mo-trágyákat csak szükség esetén, kis adagban alkalmazzuk.

Az egyes kultúrnövények Mo igénye eltérő. A keresztes virágúak és ezek közül a káposztafélék (karfiol, bimbós kel) több Mo-t igényelnek. A pillangósok, illetve a velük szimbiózisban élő gümöbaktériumoknak is szükségük van Mo-re a nitrogénáz aktiválásához.

Rétek, legelők és takarmánynövények trágyázására 150-200 g/ha nátrium-molibdenát használható fel 4-6 évenként, mivel a nagy Mo-tartalmú takarmány molibdenózist okozhat a kérődzőknél. A káposztafélék (karfiol, bimbós kel) trágyázására 0,5-2,0 kg/ha használható évente.

A *B-trágyázás* is csak nagy körültekintéssel végezhető. Az egyszikűek igénye lényegesen kisebb, mint a kétszikűeké és valamennyi kultúra érzékeny a B feleslegre. A javasolt bór adagok általában 0,5-3,0 kg/ha közé esnek, többnyire nem haladják meg az 1-2 kg/ha adagot.

A kis mennyiségek egyenletes kijuttatása szilárd formában csak úgy lehetséges, ha a bórvegyületet makroelemtrágyákhoz keverjük (pl. bórszuperfoszfát). Permetező trágyázásra 0,2-0,3 %-os oldatokat használunk, a kipermetezett mennyiség ne legyen több 0,3-0,5 kg/ha-nál.

A bórtrágyázást a cukorrépánál és burgonyánál a szénhidrátképzés, a lucernánál és hereféléknél a termékenyülés elősegítésére alkalmazzák a magtermesztésben. A gyümölcsféléknél is kedvező hatású a termékenyülésre, szénhidrátképzésre.

A bór pótlásáról B-szegény és *frissen meszezett* talajokon kell gondoskodnunk, mivel a meszezés hatására a pH emelkedik és a bórfelvétel csökken. A bórtrágyázással nagyobb terméstöbbslet érhető el, mint általában a többi mikroelemmel, a többlet B-igényes kultúráknál meghaladhatja a 10 %-ot.

#### Kérdések

1. Milyen talajtulajdonságok befolyásolják a mikroelemek felvételét?
2. Milyen körülmények között és milyen célra használhatók a vízzoldható mikroelem vegyületek?
3. Milyen elemek hiánya fordul elő leggyakrabban és milyen talajokon?
4. Milyen mikroelempótlást javasol lúgos talajokon?
5. Mire kell ügyelni a savanyú talajok mikroelem pótlásánál?

## IV. SZERVES TRÁGYÁK

### *A szerves trágyák jelentősége, csoportosítása*

A szerves trágya kedvező hatását már az ókorban ismerték, és ezért felhasználták. A szerves trágyák hatásának megítélése sokat változott az idők folyamán. A tapasztalatból származó ismereteket felváltották a tudományos vizsgálatokból lezűrhető megállapítások.

A szerves trágyák tápanyagtartalma viszonylag kicsi, a tápanyagok csak a szerves anyag lebomlásával, tehát időben elnyújtva érvényesülnek.

A szerves trágyák felhasználása kis tápelemtartalmuk és nagy víztartalmuk ellenére *szükséges és hasznos*. A szerves trágyák felhasználása hozzájárul a talajtermékenység fokozásához, illetve fenntartásához.

A szerves trágyák közül különösen értékes az *istállótrágya* (almos trágya). Szervesanyag- és baktériumtartalma fontos szerepet játszik a talajélet alakításában. Az istállótrágya nemcsak a magasabb rendű növényeknek, hanem a mikroorganizmusok számára is szolgáltat tápanyagot. Kedvezően befolyásolja a talaj fizikai-kémiai tulajdonságait, s közvetve a víz- és tápanyagszolgáltató képességét. Serkentő anyagokat, hormonokat tartalmaz, amelyek elősegítik a növények növekedését, és fejlődését. Az almos trágya makroelemeken kívül mikroelemeket is tartalmaz, így az istállótrágya alkalmazásával visszatérül a talajból elvont mikroelemek jelentős része. Mindaddig míg a mikroelemtrágyázás általánossá nem válik, a szerves trágyák biztosítják a rendszeres mikroelem visszapótlást.

Magyarországon korábban sem állt rendelkezésre megfelelő mennyiségű istállótrágya a hazai növénytermesztés szükségleteinek fedezésére. Az elmúlt évtizedben az állatállomány feleződése további csökkenést eredményezett az istállótrágya termelésben. Ezért a növények tápanyagigényének kielégítésére elengedhetetlen a műtrágyák használata.

### *A szerves trágyák csoportosítása:*

1. istállótrágya (almos trágya),
2. trágyalé,
3. hígtrágya:
  - alom nélküli hígtrágya,
  - kevés almot tartalmazó hígtrágya,
4. egyéb szerves trágyák:
  - baromfitrágya
  - tőzefekáltrágya
  - komposzt
  - zöldtrágya

### **1. Az istállótrágya (almos trágya)**

Istállótrágya vagy almos trágya: a hagyományos, almos állattartás mellett az állatok ürülékéből és alomanyagból megfelelő trágyakezeléssel előállított szerves trágya.

### 1.1. Az istállótrágya alkotórészei

A friss istállótrágya, az alom és az állatok ürülékének (bélsár, vizelet) keveréke. A friss trágya összetételét a komponensek aránya határozza meg. Az ürülék összetétele állatfajonként változik és függ a takarmányozástól is. Az istállótrágya minősége az alkotórészek kémiai összetételétől és a trágyakezeléstől függ.

A friss *szilárd ürülék* (bélsár) közel 80 % vizet, kereken 20 % szerves anyagot és mindössze 1 % körüli ásványi anyagot tartalmaz. Az egyes állatfajok szilárd ürülékének jellemzésére a 46. táblázatban közlünk adatokat.

46. táblázat A háziállatok ürülékének átlagos összetétele (%)

Megnevezés	Víz	Száraz- anyag	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<i>Bélsár</i>					
Szarvasmarha	80-85	13-18	0,3-0,6	0,2-0,3	0,1-0,2
Sertés	75-85	13-20	0,5-0,7	0,4-0,6	0,3-0,5
Juh	60-70	25-35	0,5-0,7	0,3-0,4	0,1-0,2
Ló	73-77	20-23	0,5-0,6	0,3-0,4	0,3-0,4
<i>Vizelet</i>					
Szarvasmarha	90-93	3- 6	0,6-1,0	0,10-0,15	1,0-1,5
Sertés	94-97	2- 3	0,5-0,6	0,05-0,15	0,8-1,0
Juh	87-91	7- 8	1,4-1,6	0,10-0,15	1,5-2,0
Ló	89-93	5- 7	1,2-1,4	0,01-0,05	1,5-1,8

A növényevők szilárd ürülékében viszonylag nagy a *lignin* és a *cellulóz* mennyisége, mivel ezek az anyagok csak kis mértékben emészthetők. A lignin és cellulóz együttesen a szerves anyagnak több mint a felét teszi ki, a takarmány könnyen bontható részei, így pl. a *szénhidrátok*, az emésztés során nagyrészt felhasználódnak. A szilárd ürülék *nitrogénje* fehérjék, ill. nukleoproteinek formájában van jelen, hasonlóan a *foszfor* nagyobb része is. A szilárd ürülék ezen kívül jelentős mennyiségű élő és elhalt baktériumot tartalmaz. 1 g friss szarvasmarha trágyában több milliárd baktérium található. A tehéntrágya baktériumtartalma száraz anyagra számítva 14-18 %. Más állatok szilárd ürülékében még ennél is nagyobb mennyiségű baktérium van.

A *vizelet* több mint 90 %-a víz. A friss vizelet csak kevés szerves anyagot tartalmaz, melynek nagy része nitrogéntartalmú vegyület. Hatóanyagtartalma: 0,5-1,5 % N; 0,05-0,1 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 1-1,5 % K<sub>2</sub>O.

A foszfor tehát nagyságrendileg kisebb mennyiségben van jelen, mint a nitrogén és kálium (46. táblázat).

A vizeletben jelenlévő *nitrogén* legnagyobb része, kb. 80 %-a karbamid. A növényevők vizeletében ezen kívül jelentős mennyiségű hippursav is található. Kis mennyiségben fordul elő kreatinin és húgysav.

Az állatok almozására többnyire gabonaszalmát használnak. Szükség esetén felhasználható ezen kívül a hüvelyesek szalmája, burgonyaszár, tőzeg, fűrészpor, falomb, stb. Az *alomanyagok* fontos tulajdonsága a *nedvszívóképesség* és a növényi *tápelem-tartalom*, továbbá a szerves anyag *minősége*. A különböző alomfélék nedvszívó képességét (100 kg alom által felszívott víz kg) és átlagos NPK tartalmát a 47. táblázatban foglaltuk össze.

47. táblázat **Alomanyagok vízfelszívó képessége és NPK-tartalma (%)**

Alomanyag	Vízfelszívó képesség	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Gabonaszalma	200-300	0,3-0,6	0,1-0,2	0,6-1,0
Hüvelyesek szalmája	250-350	1,2-1,5	0,3-0,4	1,0-2,0
Burgonyaszár	180-220	0,3-0,4	0,1-0,2	0,7-0,9
Tőzeg	600-900	0,6	0,1	0,1
Fűrészpor	300-400	0,2	0,1	0,3
Falomb	200-250	0,8	0,3	0,3

A *gabonaszalma* alkotórészeinek többsége a mikroszervezetek által könnyen bontható. A szalmában a nehezen bontható *lignin* viszonylag kisebb mennyiségben, míg a tőzegben és fűrészporban lényegesen nagyobb mennyiségben van jelen. Ezért a *tőzeget* és *fűrészport* jobb nedvszívó képessége ellenére sem szívesen használják almozásra. A tőzeg nemcsak a vizelet felitására alkalmas, hanem a karbamid bomlásából származó ammóniát is megköti. Magyarországon elsősorban a gabonaszalmát használják almozásra.

Az *istállótrágya mennyisége* függ az alom mennyiségétől. Számosállatonként általában 2-5 kg szalmát használnak fel, állandó istállózás és a vizelet folyamatos elvezetése mellett. Ez az alommennyiség a vizeletnek csak kb. egyharmadát szívja fel, a vizelet többi részét trágyalékutakban kell összegyűjteni. Ilyen körülmények között számosállatonként 30-40 kg friss trágya keletkezik naponta.



A felhasznált szalma mennyisége nemcsak az istállótrágya mennyiségét, hanem *minőségét* is befolyásolja. Kevés alomanyag felhasználása esetén az istállótrágya érése nem megfelelő. Túl sok alomanyag alkalmazásakor viszont kedvezőtlen lesz az istállótrágya C/N aránya. Az istállótrágya minőségét az alkotórészek arányán kívül döntően a *trágyakezelés* módja határozza meg.

### **1.2. Az istállótrágya kezelése**

A trágyát az üzemben a *trágyaszérűn*, vagy *trágyatelepen* összegyűjtik, míg a kiszállítása szükségessé, illetve lehetővé válik. Ez idő alatt úgy kell kezelni, hogy a tápanyagveszteség a lehető legkisebb, az érett trágya pedig megfelelő minőségű legyen. Az istállótrágya érlelése rendszerint nagy szárazanyag- és nitrogénveszteséggel jár, míg a foszfor- és káliumveszteség viszonylag csekély.

A *szárazanyag-* és *nitrogénveszteség* a tárolás körülményeitől függően a 30-60 %-ot is elérheti. A nitrogénveszteség mindenképpen elkerülendő. A szervesanyag-veszteség kérdése nem ítéltető meg ilyen egyértelműen. Tág C/N arányú trágya esetén kívánatos a szervesanyag-tartalom csökkenése a kedvező C/N arány eléréséig. A szervesanyag-veszteség azonban nitrogénveszteséggel járhat, ezért elsősorban olyan trágyakezelésre kell törekednünk, melynél ez utóbbi nem következik be.

Ha a trágyát *lazán* tároljuk, akkor az aerob mikroszervezetek tevékenysége révén megkezdődik a szerves anyag *oxidatív lebontása* szén-dioxiddá és vízzé. A N-tartalmú vegyületekből ammónia szabadul fel. A szén-dioxid és az ammónia gáz alakban távozik, ez okozza a trágya szervesanyag- és N-veszteségét. Az oxidáció hőtermeléssel jár, ha a keletkező hő nem tud eltávozni a trágyakazal jelentősen felmelegszik (50-80 °C).

A nagy trágyakazlakban, a melegedés és oxigénhiány hatására a szerves anyag bontó baktériumok fokozatosan elpusztulnak, a bontási folyamatok idővel lelassulnak.

Ha a trágyát *nedvesen* és *tömören* tároljuk, s ezzel a levegőutánpótlást a trágyában megakadályozzuk, akkor a friss trágyában jelenlévő oxigén felhasználása után az aerob mikroszervezetek rövidesen elpusztulnak és az anaerob szervezetek szaporodnak el. *Erjedési folyamatok* indulnak meg.

Az *oxidatív bontás* során a szénhidrátok teljes mennyisége szén-dioxiddá és vízzé alakul, az erjedési folyamatokban viszont metán, alkoholok, tejsav, vajsav képződik. Az erjedés során felszabaduló energiamennyiség sokkal kisebb, mint a teljes oxidáció esetén.

A tömören tárolt trágya éppen ezért nem melegszik úgy fel, mint a lazán tárolt. Ezt a trágyakezelési eljárást *hideg érlelésnek* is nevezzük. A kisebb felmelegedés, továbbá a savanyú erjedési termékek

keletkezése következtében sokkal kisebb a szárazanyag- és nitrogénveszteség, mint aerob bontás esetén. Függetlenül attól, hogy itt kevesebb ammónia szabadul fel szerves kötésből, az erjedés során képződő savak nagy mennyiségű ammóniát kötnek meg és így a trágya gazdagabb lesz oldható nitrogénvegyületekben.

A hidegen érlelt istállótrágya kémhatása gyengén savanyú (pH 6,0-7,0), míg a többi trágyakezelési eljárásokkal készített trágya enyhén lúgos, pH-értéke 8,0-nál nagyobb.

### **1.3. Trágyakezelési eljárások**

A különböző trágyakezelési eljárások a trágyaérlelés során mérhető hőmérséklet alapján *hideg*, (30 °C), *meleg* (40 °C) és *forró* (60 °C) eljárások csoportjába sorolhatók. Ismeretes ezen kívül az istállóban történő *mélyalmos* trágyaérlelés és a *metános* trágyaerjesztés.

*Hideg érlelést* csak viszonylag kevés alomanyagot tartalmazó trágya azonnali tömörítése révén érhetünk el. (A szalmás trágyából a levegőt nem lehet teljesen kiszorítani és a trágyát nem lehet megfelelően tömöríteni.) A hideg érlelésnél viszonylag legkisebb a N-veszteség, a trágya C/N aránya közelítőleg változatlan marad.

A *meleg érlelés* elve, hogy a trágyát előbb lazán rétegezve terítik el. Levegővel érintkezve megindul a trágya könnyen bomló alkotórészeinek bomlása és emelkedik a hőfok. A kívánt hőmérsékletet (40 °C) elérve, az oxidatív bomlást a trágya tömörítésével megszakítják. A gyakorlatban ezt úgy oldják meg, hogy a friss trágyát mindig csak a trágyaszarvas egy-egy szakaszán terítik el és a következő napi trágyát fölé rakják.

A *forró érlelési eljárás* a meleg érleléshez hasonló, a különbség csak annyi, hogy a trágyát fellazítva rakják a trágyaszarvasra és akkor kezdik tömöríteni, amikor hőfoka elérte a 60 °C-ot. A forró és meleg érlelési eljárásokkal előállított istállótrágyák jobban humifikálódnak, mint a hidegen érlelt istállótrágya. Ezzel szemben a forró és meleg érlelésnél nagy a szervesanyag- és nitrogénveszteség.

A *mélyalmos trágyakezelés* csak mélyített istállókban kivitelezhető és csak juhok, növendékmarhák, csikók tartásánál alkalmazzák. Az állatok alá bőséges alomanyagot adnak és több hónapig nem hordják ki a trágyát az istállóból. Az ürülék teljes mennyisége az alomba jut. A mélyített istállóban szabadon mozgó állatok a trágyát állandóan tömörre tapossák. Ezért a szervesanyag- és nitrogénveszteség kicsi, az istállótrágya több N-t tartalmaz, mint szarvasban tárolva, ugyanis a vizelet teljes mennyiségét tartalmazza. A nitrogéntartalom nagy része oldható N-

vegyületből áll. A mélyített istállókból származó trágyát azonnal be kell szántani, mert ellenkező esetben a kihordás és bemunkálás közötti időben nagy N-veszteségek keletkeznek.

A metános trágyaerjesztés a *biogáz* gyártás alapja. Ha a trágyát a levegő teljes kizárásával, zárt térben erjesztik, a könnyen bomló szerves vegyületekből kevés szén-dioxid és nagy mennyiségű metángáz képződik. A nagy kalóriatartalmú gáz fűtésre, míg a visszamaradó anyag trágyázásra használható. Minősége jobb, mint a hagyományos módon előállított istállótrágyák minősége. A metános trágyaerjesztés külön beruházást igényel, ezért nem terjedt el szélesebb körben.

Magyarországon *Kolbai, Kuthy, Kreybig* és *Sarkadi* dolgozott ki trágyakezelési eljárásokat, a veszteségek csökkentése és a jó minőségű trágya előállítására. Az eljárások közös vonása, hogy a trágya tömörítésével igyekeztek a veszteségeket csökkenteni, és a minőséget javítani. A hazai viszonyok között végrehajtott trágyakezelések a forró érlelés körülményeit közelítik meg leginkább. Ennek oka, hogy általában sok szalmát használnak fel almozásra, a trágyából a levegő nem szorítható ki teljesen és a szalmában sok a könnyen bomló szerves vegyület.

*Kreybig* több évtizeden át végzett kísérleteket, melyekben az istállótrágyát szuperfoszfáttal és nyersfoszfátokkal kiegészítve érlelte. Megállapította, hogy a szuperfoszfát hozzákeverése csökkenti az érlelési veszteségeket, míg a nyersfoszfát hozzákeverésével a nyersfoszfátok kihasználási százaléka növekszik. Külföldi vizsgálatok igazolták az almos trágyákhoz kevert szuperfoszfát jobb érvényesülését.

A nagyüzemek nagy állatlétszáma és a kézi munkerő hiánya nem tették lehetővé a szerves trágya hagyományos módszerekkel történő munkaigényes kezelését. Kialakultak a gépesített nagyüzemi kezelési módszerek. Ezek alapelve ugyancsak a trágya nedvesen és tömören történő tárolása a veszteségek elkerülésére.

Az istállótrágya *minősítése* kémiai vizsgálatok alapján történhet. A minőségi mutatók határértékeit a 48. táblázatban közöljük. Az adatok egységesen 75 %-os víztartalmú trágyára vonatkoznak. A jó minőség jellemzésére közölt értékek a gyakorlatban ritkán fordulnak elő, mivel csak optimális érlelési feltételek mellett érhetők el.

48. táblázat **Az istállótrágya minősítése**

Tápanyagtartalom	Jó	Közepes	Gyenge
Nitrogén, N %	0,7-1,0	0,5-0,7	0,3-0,5
Foszfor, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0,4-0,7	0,3-0,4	0,2-0,3
Kálium, K <sub>2</sub> O %	0,8-1,0	0,5-0,8	0,3-0,5
Szerves anyag %	18-22	15-18	10-15
C/N arány	15-20:1	20-25:1	25-30:1

#### 1.4. Az istállótrágya felhasználása

Az istállótrágya hatása függ a trágya *minőségétől*, érettségi fokától. A friss istállótrágya tág C/N aránya N-immobilizációt okozhat a talajban, ezért csak kiegészítő N-műtrágyával együtt adható. A trágyahatás és kiszórhatóság szempontjából is, csak a megfelelően kezelt, érett istállótrágya felhasználása javasolható.

Az istállótrágyázás a talaj *szervesanyag-utánpótlása* és a növények *tápanyagellátása* szempontjából egyaránt fontos. Az istállótrágya könnyen bontható szerves anyaga a mikroorganizmusok táplálékául szolgál, míg a nehezebben bontható vegyületek a talaj szervesanyag-készletét gyarapítják. Ennek megfelelően *táphumuszt* és *tartós humuszt* különböztetnek meg.

Az istállótrágya humuszanyagai megfelelő érlelés esetén alakulnak ki, de még ekkor is sokkal nyersebbek, mint a talaj humuszanyagai. Az istállótrágya a talajban további átalakulásokat megy keresztül. A szerves anyag bomlik és a bomlástermék átalakulásával, egymásrahatásával képződik a talaj szerves anyaga, a humusz.

A szerves anyag *bomlási* sebessége a talaj kémhatásától és levegőzöttségétől függ. Semleges kémhatású talajban gyorsabb, mint savanyú talajokban. *Laza* talajon nagyobb a bomlási sebesség, mint *kötött* talajon. Ebből következik, hogy a savanyú kémhatású és kötött talajokon a szerves anyag lassan bomlik, felhalmozódik.

A közepes minőségű istállótrágya *átlagos tápelemtartalma*:

0,6 % N      0,35 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>      0,6 % K<sub>2</sub>O

vagyis 10 t istállótrágya

60 kg N      35 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>      60 kg K<sub>2</sub>O-nak

megfelelő N, P, K-t tartalmaz.

A tápelemtartalomnak csak *egy része* érvényesül, az sem közvetlenül az alkalmazás évében, hanem hosszabb idő alatt, mivel a tápelemek csak a trágya fokozatos ásványosodásával válnak a növények számára hozzáférhetővé.

10 t közepes minőségű almos trágya átlagos tápanyag szolgáltatóképessége:

első évben	18 kg N	20 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40 kg K <sub>2</sub> O
második évben	12 kg N	15 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20 kg K <sub>2</sub> O
összesen	30 kg N	35 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	60 kg K <sub>2</sub> O

Az adatokból kitűnik, hogy az istállótrágya tápelemei közül a N *rosszul érvényesül*, mindössze 50 %-ban hasznosul, mivel egy része nehezen bontható és ezenkívül veszteségek is fellépnek. A foszfor és kálium érvényesülése az istállótrágyában a műtrágyákéhoz hasonló. A foszfor esetenként még jobban érvényesül a szerves trágyában, mint műtrágyaként alkalmazva (humát effektus).

A szerves trágyák lebomlása a talajban 3-4 évig is elhúzódhat. Sarkadi korábban 3 évre elosztva javasolta figyelembe venni a szerves trágya utóhatását, a műtrágyaadagok megállapításánál, a talaj kötöttségétől függően (49. táblázat). Újabban csak 2 éves utóhatást vesznek figyelembe, mivel a harmadik évben felszabaduló tápelemmenyiség elhanyagolható.

49. táblázat 10 t istállótrágya tápanyag-szolgáltatása kg-okban (Sarkadi, 1975)

	Homok			Vályog			Agyag		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1. év	15	15	30	12	12	30	10	10	25
2. év	10	7	15	10	8	20	10	9	20
3. év	5	3	5	8	5	10	10	6	15
1+2+3=	30	25	50	30	25	60	30	25	60

Az almos trágya magnézium- és mikroelemtartalma lényegesen kisebb, mint az NPK tartalom, de nem hagyható figyelmen kívül a tápanyagutánpótlásban.

Az *almos trágyát*, általában 30-50 t/ha adagban, 4-5 évenként használják, ahol erre megvan a lehetőség. Országos átlagban évente 3 t/ha szerves trágya keletkezik, ebből következik, hogy az istállótrágyát csak a mezőgazdaságilag hasznosított terület egy részén és meghatározott kultúráknál használják fel. Megállapítható továbbá, hogy az almos és egyéb szerves trágyákkal a terméssel

kivont tápelemeknek csak kis részét tudjuk pótolni, különösen amióta az állatállomány felére csökkent. Ezért a műtrágyázás elengedhetetlen.

Az istállótrágya *felhasználása* nemcsak NPK tartalma, hanem egyéb kedvező hatásai miatt is indokolt. Ezek a következők:

- A talajok fizikai és kémiai tulajdonságait javítja. A kötött talajokat lazítja, a homoktalajok kolloidtartalmát növeli. Elősegíti a jó talajszerkezet kialakulását illetve fenntartását.
- A talajok kationcserélő-képességét, pufferkapacitását kedvezően befolyásolja.
- Gazdagítja a talajt tápanyagban, a makroelemeken kívül mikroelemeket is tartalmaz.
- Élénkíti a mikrobiológiai életet a talajban, a mikroszervezeteknek szénforrásul szolgál.
- A trágya lebontása során keletkező szén-dioxid elősegíti a tápanyagok és talajjavító anyagok oldódását.
- Vitaminokat, hormonokat, növényi serkentő anyagokat juttat a talajba, melyek a talaj mikroflórájára és a magasabb rendű növények fejlődésére is előnyösen hatnak.
- A talajt tartós humuszanyagokban is gazdagítja.

#### Kérdések

1. Mi indokolja a szerves trágyák felhasználását? Melyek a szerves trágyák főbb csoportjai?
2. Miből áll az almos trágya? Milyen tényezők befolyásolják alapvetően minőségét?
3. Mi a trágyakezelés célja? Melyek a kezelés elvei és módszerei? Milyen folyamatok jellemzik a hideg, meleg és forró trágyakezelést? Hogyan küszöbölhető ki a N-veszteség?
4. Megvalósítható-e üzemi viszonyok között a hideg érlelés? Mi a biogázgyártás alapja?
5. Melyek az almos trágya minőségi mutatói? Milyen a közepes minőségű trágya összetétele?
6. Milyen minőségű almos trágyák használhatók fel a N-immobilizáció veszélye nélkül?
7. Milyen talajtulajdonságok szabják meg a szerves trágyák lebontását, érvényesülését?
8. Mennyi tápelemet juttatunk a talajba 10 t átlagos minőségű szerves trágyával?
9. Mi a különbség a N és a többi tápelem hasznosulása között?
10. Milyen adagban és időközben használunk almos trágyát? Hány tonna almos trágya jut évente, hektáronként országos átlagban?
11. Melyek az almos trágya alkalmazásának előnyei?

## 2. A trágyalé

A *trágyalé* hagyományos állattartás mellett keletkező folyékony szerves trágya, mely az alomanyag által fel nem szívott vizeletből és csurgalék levekből áll.

A trágyalevet az istálló közelében épített trágyalékutakban gyűjtik. Számosállatonként kb. 1000 liter trágyalé keletkezik félévenként.

A vizelet 1-1,5 % nitrogént tartalmaz. Ennek legnagyobb része gyorsan bomló *karbamid*, ezért nagy nitrogénveszteség jöhet létre  $\text{NH}_3$ -gáz távozásával. A veszteség elkerülésére folyamatosan el kell vezetni a trágyalét az istállóból a trágyalékutakba, s ott kezelni kell. A trágyatelepeken is keletkezhet trágyalé, illetve csurgaléklé. Ez tözeggel, szecskázott szalmával felitatható, esetleg a trágyalékútba vezethető.

A trágyalékútban a trágyalevet különböző *adalékok* segítségével elzárjuk a levegőtől. Jól megfelel pl. a petróleum, terpentinolaj és egyéb ásványolaj-származék, melyek kisebb sűrűségük következtében a trágyalé tetején helyezkednek el és megakadályozzák a levegős körülmények között működő karbamidbontó *uro-baktériumok* működését. Ilyen módon az egyébként igen jelentős (50-70 %-os) N-veszteség minimálisra csökkenthető.

A N-veszteségek kiküszöbölésének másik módja *savanyú hatású* anyagok adagolása. Savanyú közegben nem lép fel N-veszteség. A trágyalé konzerválására kénsavat, szuperfoszfátot lehet felhasználni. A szuperfoszfáttal a trágyalé P-tartalma növelhető. Legcélszerűbb a trágyalevet rövid ideig tárolni, s minél előbb felhasználni. Felhasználható a trágyalé a trágyakazal öntözésére is, amivel nyáron megakadályozható annak kiszáradása.

A trágyalé összetételét a vizelet összetétele alapján (46. táblázat) ítéltjük meg. A táblázatból kitűnik, hogy a trágyalé elsősorban N- és K-trágyaként használható fel, P-tartalma rendkívül kicsi. (Átlagos összetétele  $\text{N} = 1,0-1,5$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,1-0,05$ ;  $\text{K}_2\text{O} = 1,0-1,5$  %). A N- és K-tartalom vízzeloldható formában van jelen, így gyorsan hat. A trágyalé eredményesen használható a *rétek és legelők* trágyázására. Ez esetben a foszforutánpótlásról külön kell gondoskodnunk. Felhasználható a kalászosok vetés előtti trágyázására, illetve hígított állapotban fejtrágyázásra is.

#### Kérdések

1. Miből áll a trágyalé? Jellemezze összetételét!
2. Hogyan küszöbölhető ki az N-veszteség a tárolás során?
3. Mire használjuk a trágyalét?

### 3. A hígtrágya

A *hígtrágya* almozás nélküli állattartás közben keletkező folyékony halmazállapotú szerves trágya, mely bélsárból, vizeletből és a trágya eltávolítására felhasznált vízből áll. Az *almos hígtrágya* állati ürülék és alomanyagként használt szecskázott szalma vízzel alkotott keveréke, mely hidraulikusan szállítható.

#### 3.1. A hígtrágya keletkezése

Hazánkban a hígtrágya kezelésének és felhasználásának nincsenek hagyományai. Svájcban és Ausztriában az alpesi kisgazdaságokban–alom hiányában–már a múlt században rácspadozaton tartottak állatokat alom nélkül. A keletkező hígtrágyát "Gülle"-nek nevezik, melyet elsősorban réten, legelőn használnak fel. Napjainkban Hollandiában és más nagy állatsűrűséggel gazdálkodó nyugat európai országokban is nagy mennyiségű hígtrágyát termelnek, illetve használnak fel.

Magyarországon a termelés koncentrálása az állattenyésztésben nagy szakosított állattartó telepek kialakításához vezetett az 1960-as évek végén. A telepeken megvalósított alom nélküli tartástechnológia következtében nagy volumenű hígtrágya keletkezett. Egy 500 férőhelyes szarvasmarha telepen átlagosan  $50 \text{ m}^3$ , 5000 férőhelyes sertéstelepen átlagban napi  $75 \text{ m}^3$  hígtrágya gyűlt össze. Országosan évente több mint 10 millió  $\text{m}^3$  hígtrágya képződött.

A nagyüzemek felbomlásával és átalakulásával a hígtrágya termelése erősen csökkent, mégis fontosnak tartjuk tárgyalását, mivel a hígtrágya szakszerű és környezetkímélő felhasználása tápanyag-gazdálkodási és környezetvédelmi szempontból egyaránt fontos.

Gazdasági jelentősége azzal magyarázható, hogy értékes tápelemeket tartalmaz. Nagy mennyisége kis hatóanyag-tartalma ellenére jelentős tápanyag-mennyiséget képvisel. Pl. az 1974-ben keletkezett  $13,6$  millió  $\text{m}^3$  hígtrágya, mintegy  $160$  ezer tonna műtrágyának felel meg, melynek előállítási és részben importálási költségei a hígtrágya felhasználásával megtakaríthatók.

A hígtrágyák átlagos összetételét az 50. táblázatban közöljük. Ebből kitűnik, hogy az NPK tartalma elemenként mindössze  $1-2 \text{ kg/m}^3$ . A hígtrágya nem egyszerű szennyvíz. Külföldi és hazai tapasztalatok egyaránt azt bizonyítják, hogy a kommunális szennyvizek tisztítására kidolgozott módszerekkel még nagy anyagi ráfordítások árán sem lehet a hígtrágyát ártalmatlanná tenni. Egyetlen mód a talajba juttatás. A talajban a szerves anyag lebomlik, a tápanyagok hasznosulnak és megszűnik a fertőzési veszély.



50. táblázat **Sertés- és szarvasmarha hígtrágyák átlagos összetétele**  
(Csaba–Kiss–Szinay – Vermes, 1978)

Tápanyag, szerves anyag		Sertés	Szarvasmarha
N	kg/m <sup>3</sup>	0,8-2,6	0,9-3,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ,	kg/m <sup>3</sup>	0,3-1,2	0,3-1,5
K <sub>2</sub> O,	kg/m <sup>3</sup>	0,9-2,3	0,5-2,5
Szerves anyag	kg/m <sup>3</sup>	5,9-31,2	35-40

A hígtrágya *környezetszennyezővé* válhat, ha gondatlanságból, vagy a technikai feltételek hiányában nem valósítható meg *ellenőrzött felhasználása*. Ekkor ugyanis szennyezi a levegőt, vizet és fertőzési veszélyt rejt magában.

A hígtrágya *kezelése és felhasználása* a mezőgazdasági üzemekben elsősorban nagy mennyisége, folyamatos termelése és szakaszos felhasználási lehetősége miatt okoz gondot.

### 3.2. A hígtrágya mennyisége, összetétele

A hígtrágya *mennyiségét* az ürülék és öblítő víz mennyisége határozza meg. Az ürülék állatfajonként, a felhasznált víz mennyisége technológiánként változó.

Legkisebb a vízfelhasználás *mechanikus trágyaeltávolítás* esetén. A *duzzasztásos, vagy öblítéses* rendszerrel működő istállóban mintegy 3-4-szeres hígulás következik be.

Megkülönböztetünk hígítás nélküli vagy *teljes hígtrágyát* (elméleti fogalom a trágya beltartalmi értékeinek összehasonlításához); 1:1 arányban hígított *kövér hígtrágyát* és legfeljebb 1:4 hígítású *sovány hígtrágyát*. Amennyiben a hígítás aránya meghaladja az 1:4 értéket *tovább hígított* trágyáról beszélünk.

A termelő hígtrágya mennyisége az említettek következtében nagymértékben változhat. Átlagosan egy sertés férőhelyre 25 l/nap, egy tehén férőhelyre 100 l/nap hígtrágya hozam jut.

A hígtrágya többfázisú heterogén rendszer, melyben a szerves és szervetlen alkotórészek különböző méretekben és eloszlásban találhatók meg. *Tulajdonságait* a benne található részecskék fajsúlya, mérete, alakja, eloszlása határozzák meg. *Összetétele* állatfajonként változó, függ az állatok korától, takarmányozásától és a tartás módjától, illetve céljától (51-52. táblázat).

51. táblázat **A szarvasmarha-hígtrágya tápanyagtartalmának alakulása a kor, illetve a tartási cél függvényében 10 %-os szárazanyag-tartalmú hígtrágyára vonatkoztatva (Koriath és munkatársai, 1975)**

Elem	Növendék marha	Hízó marha	Tejelő tehén
N %	0,35	0,70	0,40
P %	0,12	0,18	0,06
K %	0,28	0,56	0,46
Ca %	0,19	0,20	0,21
Mg %	0,06	0,08	0,05
Na %	0,06	0,05	0,05

52. táblázat **Különböző korú sertések teljes hígtrágyájának átlagos kémiai jellemzői százalékban (Csaba–Kiss–Szinay – Vermes, 1978)**

Megnevezés	Korcsoportok			
	malac	süldő	hízó	koca
Szárazanyag	2,27	6,50	6,62	7,95
Szerves anyag	0,85	2,98	3,34	4,76
Összes szén	0,47	2,72	3,35	4,00
Összes nitrogén	0,20	0,40	0,57	0,68
Ammónia nitrogén	0,16	0,24	0,27	0,24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,10	0,12	0,10
K <sub>2</sub> O	0,12	0,36	0,37	0,17
CaO	0,03	0,11	0,20	0,20
MgO	0,02	0,04	0,05	0,04
Na	0,03	0,03	0,05	0,04
pH-érték	7,1	6,6	6,8	6,7

Hazai vizsgálatok szerint a hígtrágya összetevői minden esetben meghaladják azt az értéket, melynél még megengedhető lenne a felszíni vizekbe juttatása, ezért az élő vizektől távol kell tartani. A vizsgálatok egyben igazolják, hogy a hígtrágyák növényi tápanyagtartalma jelentős, tehát helyes a hígtrágyák mezőgazdasági hasznosítása, a mesterséges tisztítás nem jöhet szóba.

### 3.3. A hígtrágya felhasználása

A hígtrágya *folyékony* és *szilárd fázis* szétválasztása (fázisbontás) után, vagy anélkül használható fel. A *szétválasztás* ülepítéssel, szűréssel, illetve ezek kombinációival valósítható meg. A szűrés a mezőgazdasági üzemben legegyszerűbben szalmaszűrőkön valósítható meg.

A szilárd és folyékony részek elválasztásakor további gondot jelent a *szilárd fázis* kezelése, felhasználása. Számos külföldi és hazai vizsgálat szerint a tápelemek 60-90 %-a a folyékony fázisban van jelen és a szilárd fázis elsősorban szerves anyagként hasznosítható. Hazánkban éppen ezért a szétválasztás nélküli felhasználás terjedt el szélesebb körben.

A *szétválasztás nélküli* felhasználás esetén célszerű a hígtrágyát homogenizálni, ami az egyenletes minőség, a hidraulikus szállítás és a kijuttatás szempontjából egyaránt előnyös.

A hígtrágya felhasználás *legnagyobb problémája* az, hogy folyamatosan nagy mennyiségű trágya képződik és ennek talajba juttatására csak szakaszosan van lehetőség. Éppen ezért nagy tároló térre van szükség. A folyamatos kiszállítás érdekében sok üzemben nyárfákkal betelepített biztonsági fogadó területeket jelölnek ki, melyekre akkor szállítják a hígtrágyát, amikor nincs lehetőség a trágya közvetlen szántóföldi hasznosítására.

A hígtrágya felhasználásánál figyelembe kell venni a *talajadottságokat* és az *időjárási viszonyokat*. Az adag nagyságára nézve meghatározó a talajok *vízbefogadó* képessége és a talajvíz *felszíntől való távolsága*. Mindenképpen meg kell akadályozni, hogy a hígtrágya a talajvízbe jusson.

Homoktalajon kis vízviSSzatartó és jó vízvezetőképesség következtében a hígtrágya azonos mennyisége mélyebb talajrétegekbe hatol, mint a nagy vízbefogadó képességű agyagtalajon. Lejtős területeken a felszíni elfolyás veszélye is fennáll.

Télen, *fagyos talajon* fokozottabb mértékű az elfolyás, ezért ebben az évszakban sík területen sem szabad a hígtrágyát kijuttatni. A csapadékos tavaszi és őszi időszakban nagyobb a *leμοςódás* mértéke, amit ugyancsak figyelembe kell venni. A hígtrágyát célszerű azonnal bemunkálni a talajba, ezzel csökkenthető a levegőszennyezés és nitrogénveszteség.

Káros hatás léphet fel túltrágyázás formájában is. A különböző *növényfajok tűrőképessége* eltérő, a kukorica és a répa nagyobb adagokat visel el károsodás nélkül, mint a gabona.

Általános *irányelvként* elfogadható, hogy mintegy 40-60 m<sup>3</sup>/ha hígtrágya használható fel évente káros következmények nélkül. A megadott értékek a helyi adottságok figyelembevételével módosíthatók. Az előzőekből kitűnik, hogy a hígtrágya-adagokat nem a növények igényéhez mérten, hanem a talaj adottságainak figyelembevételével kell megállapítani, hogy elkerüljük a környezetkárosító hatást.

A hígtrágya közvetlen felhasználásán kívül említést érdemel *komposztálása*. A hígtrágyát szalmával, tőzeggel, fűrészporral, vagy más nedvszívó anyaggal összekeverik, majd a szokásos módon tovább kezelik.

Kérdések:

1. Mi a különbség a hígtrágya és a trágyalé között?
2. Miért kell felhasználnunk a hígtrágyát? Miért nevezik hígtrágyának?
3. Mennyi hígtrágya keletkezik egy 5000 férőhelyes szarvasmarhatelepen, illetve 500 férőhelyes sertéstelepen? Jellemezze az átlagos összetételt!
4. Hogyan befolyásolja a technológia az összetételt? Milyen egyéb tényezők hatása érvényesül?
5. Hogyan használható fel a hígtrágya?
6. Milyen szempontokat kell figyelembe venni az alkalmazásnál?
7. Mennyi hígtrágya használható fel hektáronként és évenként átlagosan a környezetszennyezés veszélye nélkül?
8. Hogyan hidalhatók át a folyamatos termelés és szakaszos kijuttatásból adódó problémák?

#### 4. Egyéb szerves trágyák

Az egyéb szerves trágyákhoz tartoznak a *baromfitrágya*, *tőzefekáltrágya*, *komposzt* és a *zöldtrágyák*.

##### 4.1. Baromfitrágya

Baromfitrágya sokkal kisebb mennyiségben keletkezik, mint az eddig tárgyalt szerves trágyák, mégis említésre méltó, mivel a nagyüzemi baromfitartás következtében egy-egy üzemben nagyobb mennyiségben is felhalmozódhat. Átlagos évi mennyisége állatonként: galamb 2,8 kg; tyúk 5,5 kg; liba 11,0 kg; kacsza 8,5 kg. A baromfiürülék összetételét az 53. táblázat tartalmazza.

53. táblázat **Baromfiürülék kémiai összetétele**

Faj	Nedvesség %	Szerves anyag %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
Tyúk	60-90	8-25	0,9-4,0	0,5-2,5	0,8-2,3
Liba	77-95	4-13	0,5-0,6	0,1-0,5	0,5-1,0
Kacsza	60-85	10-25	1,0-2,0	0,1-1,5	0,6-2,2
Galamb	50-90	3-30	0,5-5,0	0,1-2,8	0,7-2,6

A táblázat adataiból kitűnik, hogy a baromfiürülék esetenként kevesebb vizet, de általában több N-, P-, K-t tartalmaz, mint a szarvasmarha, illetve sertésürülék. Ennek következtében koncentráltabb trágya készíthető belőle. A baromfitrágyák gyorsan bomlanak, felhasználhatók komposzt készítésére, vagy istállótrágyákhoz keverve.

##### 4.2. Tőzefekáltrágya

Az emberi ürülék is felhasználható trágyázásra. Elsősorban tőzegfekáltrágya formájában alkalmazzák. A tőzeget és a fekáliát 1:5, 1:10 arányban keverik. Az emberi ürülék nitrogénben gazdag (0,8–1,2 %), így elsősorban nitrogénigényes kultúráknál használják fel.

### 4.3. Komposzt

A komposztok alapanyagai különböző *szerves hulladékok*, melyeket megfelelő *adalékokkal* kiegészítve kezelnek. A *kezelés* lényege a kiinduló anyagok többszöri átkeverése, szellőztetése, nedvesítése, ezáltal a szerves anyag lebomlik és homogén, földszínű, morzsalékos végtermék keletkezik.

A komposztok a kiindulási anyagoktól és kezeléstől függően változatos összetételűek lehetnek. Különböző könnyen bomló szerves anyagokból készülhetnek:

- gazdaságon belüli vagy konzervipari hulladékokból (pl. zöldségfélék levél- és szárrészei),
- istállótrágyából, tőzeggel felitatott hígtrágyából és tőzeges fekáltrágyából,
- városi szemből és kommunális eredetű szennyvíziszapokból, valamint ipari melléktermékekből.

A szerves anyag *gyors* lebontását–hulladékok felhasználásakor–azzal segítik elő, hogy a kiindulási anyagokat lazán tárolják, többször átkeverik vagyis *aerób* feltételeket biztosítanak. Az *oxidáció* megakadályozza a kellemetlen rothadási folyamatokat. *Adalékként* talajt és esetenként finom eloszlású kalcium-karbonátot (pl. cukorgyári mésziszap) is adnak a komposzthoz. A komposzt kb. egy év alatt beérik, ilyenkor már nem ismerhető fel benne a kiindulási anyagok szerkezete.

Az *istállótrágya* komposztálásakor hasonlóan járnak el. Az istállótrágyát és a komposztföldet (többnyire agyaggal rétegezve) rétegesen rakják fel. Az istállótrágya komposztálása során kicsi a N-veszteség és jó minőségű szerves anyag képződik.

A *tőzeg* nagy adszorpciós képessége és baktericid hatása lehetővé teszi, hogy a komposztáláshoz különböző kellemetlen szagú és rothadást előidéző alapanyagokat is felhasználjanak (pl. fekáliák és konzervgyári hulladékok). A városi szemet feldolgozása a nagyobb városok környékén iparszerűen történik.

A komposztokat elsősorban *kertészetekben* használják fel, de egyéb célra is alkalmazhatók. Szerepük a város környéki területek, városi zöld övezetek trágyázásában a legnagyobb, ahol többnyire nem áll rendelkezésre megfelelő mennyiségű istállótrágya.

### 4.4. Zöldtrágyák

*Zöldtrágyázás* az az eljárás, melyben valamilyen gazdasági növényt–mielőtt magját beérlelte volna–trágyaként alászántanak. A zöldtrágyázás növeli a talaj szervesanyag- és tápanyagtartalmát. Szerepe napjainkban inkább az *erózió* és *defláció* elleni védekezésben van.

Zöldtrágyaként különböző szálas takarmánynövények vethetők. A *pillangósok* előnye, hogy a talaj N-készletét, a velük szimbiózisban élő N-kötő szervezetek révén gazdagítják. Zöldtrágyázás hatására mindenképpen nagyobb lesz a talaj művelt rétegének tápanyagtartalma, mivel a növények gyökereik segítségével a mélyebb talajrétegekből is felveszik a tápanyagot és a zöldsöveget a felső talajrétegbe szántják be.

A zöldtrágyázás hatása függ a *bemunkálás időpontjától*. A talaj szerves anyagát csak akkor növeli, ha a szerves anyag nehezen bomló. Minél később szántjuk be a zöldtrágyát, annál nagyobb a zöldsöveg és annál nehezebben bomló a növény szerves anyaga. A *tápanyagtartalom* növelése céljából éppen ellenkezőleg fiatalon kell a növényeket alászántani, amikor viszonylag könnyen bomló szerves anyagukból a tápanyagtartalom gyorsan felszabadul. A virágzás előtt alászántott zöldtrágyából 10-40 %-kal több nitrogén szabadul fel, mint a virágzás után alászántottból.

A zöldtrágyázást általában *homoktalajon*, hazánkban *szikes talajon* is alkalmazták.

Leginkább elterjedt zöldtrágyanövény a *csillagfürt*, a *somkóró*, a *napraforgó*. A *csillagfürt* a savanyú, a *somkóró* a meszes homoktalajok zöldtrágya növénye. A *napraforgót* szikes- és homoktalajok szervesanyag-tartalmának növelésére alkalmazzák, mivel nagy a cellulóz- és lignintartalma. A napraforgó beszántása a szikesek fizikai tulajdonságait is javítja, a talajt lazítja. A szegletes lednek, a bíborhere, vöröshere, szöszös bükköny, nyúlzapuka, lóbab, repce és mustár is felhasználható zöldtrágyázásra. Az olajretek, a fehér mustár és facélia nematicid hatású zöldtrágyanövények.

A növekvő műtrágyafelhasználás idején a zöldtrágyázás fokozatosan háttérbe szorult. Kimutatták, hogy gazdaságosabb a másodvetésű zöldtrágyanövényeket takarmánnyként hasznosítani. A zöldtrágyázás kedvezőtlenül hat a talaj vízkészletére, elvonja az utána következő kultúráktól a vizet. Napjainkban a gyümölcsösök talajának védelmére vetnek a sorok közé zöldtrágya-növényeket, ezzel megakadályozzák a felső talajréteg károsodását erózió, illetve defláció révén.

#### Kérdések

1. Mi jellemző a baromfitrágyákra, hogyan használhatók fel?
2. Hogyan használható fel az emberi ürülék trágyázásra?
3. Milyen anyagok komposztálhatók? Milyen adalékokat használhatnak a komposztálás során, mi ezek célja? A komposztok felhasználása.
4. Mi a zöldtrágyázás eredeti célja és mi a szerepe napjainkban? Milyen zöldtrágyanövényeket használunk savanyú, illetve lúgos talajon?

## V. TÁPANYAGSZÜKSÉGLET MEGÁLLAPÍTÁSA

### 1. A talajok tápanyagellátottságának megítélése

A kultúrnövények megfelelő tápanyagellátásához, az ésszerű tápanyag-gazdálkodáshoz ismernünk kell a talajok *tápelemtartalmát* és a *felvételi viszonyokat*. A talajok tápanyagellátottságát a *könnyen oldható* tápelemtartalom mennyisége és az egyes tápelemek felvételét befolyásoló talajtulajdonságok alapján ítéljük meg. A növények táplálkozását nagy mértékben meghatározza a talajok *tápanyagszolgáltató képessége*, vagyis a tartalékkészletek mennyisége és mobilizálhatósága is. A talajok tápanyagellátottsága *kémiai* és *biológiai* módszerekkel vizsgálható.

#### 1.1. Biológiai módszerek

A biológiai módszerek közös vonása, hogy a növényi produkció, a növények tápanyagfelvétele, kémiai összetétele, illetve a trágyahatások érvényesülése alapján tájékozódunk az ellátottság felől. A talajok tesztelésére felhasználhatók a mikroszervezetek is. A biológiai módszerekhez tartoznak a *levél*-, vagy *növényanalízis*, a *tenyészedény-kísérlet*, a *szabadföldi kísérlet*. A biológiai módszerek lehetőséget nyújtanak a növények tápanyagigényének, illetve a talajban lejátszódó kölcsönhatások megismerésére is.

##### 1.1.1. A levél-, vagy növényanalízis

A levél-, vagy növényanalízis azon alapszik, hogy a növény *tápelemtartalma* bizonyos határok között arányosan változik a talaj könnyen oldható tápelemtartalmával. A növények tápelemfelvétele azonban az egyéb talajtulajdonságoktól is függ. A növényekben felhalmozott tápelemtartalom a felvételi viszonyokat is jellemzi. A növényben felhalmozódó tápelemmennyiség nem csak az aktuális, hanem a tenyészidőszak alatt mobilizálódó tápelemtartalomtól, vagyis a tápanyagszolgáltató képességtől is függ.

A növény tápelemtartalma és a termés nagysága közötti összefüggést a 46. ábra szemlélteti. Erős tápanyaghiány esetén a növény ásványianyag-tartalma és a termés is kicsi. A tápanyagellátás javulásával a tápanyaghiány csökken, a termés növekszik, de a növény ásványianyag-tartalma is csökken, mert a termés növekedtével az ásványianyag-tartalom kezdetben hígul (hígulási effektus). A tápanyagellátás további javulásával a termés és a növény ásványianyagtartalma együtt növekszik, egészen az úgynevezett *határkoncentráció* értékéig. Ezen túl csak az ásványianyag-tartalom növekszik, a termés állandósul. A *határkoncentráció* tehát az a legkisebb tápelemtartalom, melynek jelen kell lennie a növényben ahhoz, hogy a maximális termés kialakulhasson. Amennyiben ennél több tápanyag áll rendelkezésre, a növény ezt is felveszi (luxus felhalmozás). A növények

tápanyagigényét meghaladó tápanyagkoncentráció a talajban *toxikus hatású* ásványi anyag felhalmozódáshoz vezethet a növényben, melynek következtében a termés ismét csökken.

#### 46. ábra: A termés nagysága és a levél ásványianyag-tartalma közötti kapcsolat

Amennyiben a növényben a tápelemtartalom a határkoncentrációnál kisebb, termés kiesés lép fel. A trágyázási szaktanácsadás szempontjából döntő jelentőségű a *határérték* pontos ismerete. A *határkoncentráció* növényfajonként más-más érték. Egy-egy növényfajon belül is eltérő, a növény különböző szerveiben és az egyes fejlődési szakaszokban. A határértéket tehát csak *növényfajonként* adhatjuk meg, egy-egy *meghatározott korú növényi szervre*. Leggyakoribb a levélvizsgálat, ezért is beszélünk növény-, vagy levélanalízisről.

A *levél-, vagy növényanalízis* különböző módszerei ismertek. *Hagyományos* és szélesebb körben ismert változata szerint a begyűjtött mintákat laboratóriumban vizsgálják és egy-egy elem összes mennyiségét határozzák meg a kiválasztott növényi részben. Ezzel a módszerrel a mintavétel időpontjára felhalmozott tápelemmennyiségről és a határkoncentráció ismeretében a tápanyagellátottságról tájékozódhatunk.

Másik változata a *szövetnedv* vizsgálat. A kiperéselt növényi szövetnedvben félkvantitatív, vagy kvantitatív módszerekkel határozzák meg a szerves vegyületekbe *még be nem épült szervetlen iontartalmat*. A szövetnedv vizsgálatot elsősorban helyszíni, gyors NPK vizsgálatokhoz használják az úgynevezett *aktuális* ellátottság megítélésére. A szabad ionok jelenléte alapján jó ellátottságra, ezek hiánya esetén gyenge ellátottságra következtethetünk.

A *növény-, vagy levélanalízis* hasznosan egészíti ki a talajvizsgálatok adatait. Elsősorban a tápanyaghiányok okának felderítésében nyújt segítséget. Szántóföldön leginkább a N-ellátottság tesztelésére használják. Szőlő- és gyümölcskultúrák telepítésénél a talajvizsgálatok alapján adják a műtrágyát, majd levélanalízissel ellenőrzik az ellátottságot. Az álló kultúrákban ugyanis a levélanalízis könnyebben végrehajtható, mint a talajvizsgálat.

#### 1.1.2. A tenyészedény-kísérlet

A tenyészedény-kísérlet agrokémiai vizsgálati módszer, melyben a tápanyagellátás hatását vizsgálják a termés mennyiségére és minőségére. A módszer előnye, hogy viszonylag kis költségráfordítással számos kezeléskombináció tanulmányozható *szabályozott viszonyok között*. A tápanyagok pontos adagolása, az állandó azonos szintű vízellátás lehetővé teszi a szántóföldön évről-évre változó mértékben érvényesülő tényezők egy részének kiküszöbölését. Az egyes kezelésekből mért szárazanyag-termelés, kémiai összetétel alapján következtethetünk a talajok ellátottságára, illetve a műtrágyák érvényesülésére az adott talajon.



A tenyészedények általában 8-10 kg talaj befogadására alkalmas edények, lehetnek ennél kisebbek, vagy nagyobbak is. A tenyészedény-kísérletekhez különböző jelzőnövények használhatók, legalkalmasabbak a fűfélék, mivel fűvekkel nagy egyedszám nevelhető egy-egy edényben. A napi öntözéssel a *vízellátás* optimális értéken tartható. A csapadék hatása kiküszöbölhető azzal, hogy az edényeket kocsikon helyezik el, melyeket eső esetén tető alá tolnak. A kezeléseket az adatok statisztikai értékelhetősége érdekében megfelelő ismétlésben kell beállítani.

A rendszeres vízellátás következtében a tenyészedényekben általában lényegesen nagyobb trágyahatások mérhetők, mint szabadföldön, e hatások szabadföldön csak tendenciájukban érvényesülnek. Ezért a tenyészedény-kísérletek eredményeit szabadföldi kísérletekben kell ellenőrizni.

### *1.1.3. Szabadföldi kísérletek*

A szabadföldi kísérletek *célja* a különböző műtrágyák és szerves trágyák hatékonyságának vizsgálata eltérő termesztési feltételek között. A trágyák tartamhatása, elhelyezése a vetésforgóban, őszi-tavaszi megosztása és kölcsönhatása más agrotechnikai tényezőkkel, –mint pl. talajművelés, növényszám, stb.–csak szabadföldi kísérletekben vizsgálható. A kémiai talajvizsgálati módszerek határértékeinek megállapítását, ellenőrzését ugyancsak szabadföldi kísérletekben kell elvégezni.

A *parcella mérete* szerint megkülönböztetünk *kisparcellás* (általában 50 m<sup>2</sup>) és *nagy parcellás* (üzemi) kísérleteket. Az üzemi kísérletek 0,5-1,0 ha nagyságú területen folynak. A parcellák méretét a kísérlet célja, a vizsgált növényfaj, az elrendezés módja, a kísérlet tervezett időtartama és számos egyéb tényező határozza meg. A tudományos igényű vizsgálatokhoz a kezeléseket több ismétlésben, véletlen elrendezésben kell beállítani, az adatok statisztikai értékelhetősége érdekében. Az üzemi kísérleteket csak a legszükségesebb kezelésekkal állítják be. Ezeknél is biztosítani kell a több ismétlést, a tábla többszöri megosztásával vagy úgy, hogy a kísérletet azonos módon több üzemben, táblán végzik egyidejűleg.

A kísérletek *céljuk és kivitelezésük* szerint lehetnek *egy és több* tényezős kísérletek. Pl. növekvő N-adagok hatása azonos PK alapon egytényezős kísérletben vizsgálható. A több tényezős kísérletekben több elem pl. N, P, K vagy egyéb tényező hatása és ezek kölcsönhatása is mérhető megfelelő kezeléskombinációk esetén. A tényezők számának növekedésével egyre bonyolultabbá válik a matematikai-statisztikai értékelés és a kölcsönhatások érvényesülése miatt sokszor nehéz a hatások különválasztása.

A talaj tápanyagellátottságáról, a trágyázás várható eredményeiről a szabadföldi kísérletek adják a legmegbízhatóbb információkat, azonban ezek a legköltségesebbek.

#### 1.1.4. Mikrobiológiai módszerek

A mikrobiológiai módszerek laboratóriumban végrehajtható talajvizsgálati eljárások, melyekben mikroszervezetek segítségével teszteljük a talajt. Legelterjedtebb az *Aspergillus niger* módszer, mely azon alapszik, hogy az *Aspergillus* gomba tápanyagigénye a kultúrnövények tápanyagigényéhez hasonló és így felhasználható a talaj könnyen hozzáférhető tápanyagkészletének vizsgálatára.

A vizsgálandó talajból szuszpenziót készítünk. A szuszpenzió készítéséhez úgynevezett *hiánytápoldatot* használunk, melyből a vizsgálandó tápelem hiányzik. A szuszpenziót beoltjuk a gomba spóráival és termosztátban tartjuk 3 napig. Ez idő alatt kifejlődnek a gombatelepek. A gomba tápanyagellátását a tápoldat biztosítja, csak a vizsgálandó tápanyagot veszi fel a talajból.

A gombák *micéliumsúlyából* következtetünk a vizsgálandó tápelem mennyiségére a talajban.

A *biológiai módszerek* elsősorban a *tápanyaghiány* kimutatására alkalmasak. A hiánytüneteket előidéző tápanyaghiányt a biológiai módszerek érzékenyen jelzik, a mennyiségi meghatározásokhoz azonban csak korlátozottan használhatók fel. A biológiai módszerek hátránya ezenkívül, hogy többnyire sokkal munkaigényesebbek, mint a kémiai módszerek.

#### Kérdések

1. Melyek a biológiai módszerek előnyei és korlátai?
2. Mi az alapvető különbség a levél-, vagy növényanalízis, illetve a szövetnedv vizsgálata között?
3. Mi a határkoncentráció?
4. Mire következtethetünk a szövetnedv vizsgálat alapján?
5. Milyen célokra ajánlott a növényelemzés?
6. Melyek a tenyészedény- és szántóföldi kísérletezés közös vonásai, melyek az alapvető különbségek?
7. Mi a tenyészedény-kísérlet előnye és hátránya?
8. Milyen következtések vonhatók le a kisparcellás, illetve üzemi kísérletekből, melyek az értékelés feltételei?
9. Mire használható az *Aspergillus niger* módszer?

#### 1.2. Kémiai módszerek

A *tápanyag-ellátottság* megítélése kémiai vizsgálatok alapján úgy történik, hogy a különböző tápanyagformák, frakciók mennyiségét határozzák meg a talajban és a vizsgálatok eredményeiből az egyéb talajtulajdonságok figyelembevételével következtetnek a tápanyag-ellátottságra. Többnyire a talaj könnyen oldható, illetve kicserélhető tápelemtartalmát határozzák meg.

A kémiai tápanyagvizsgálatok eredményei csak *viszonyszámoknak* tekinthetők, melyek segítségével különböző talajok tápelemtartalma azonos módszer használata esetén összehasonlítható, illetve a

változások nyomon követhetők. Még az azonos módszerrel meghatározott tápelemtartalom sem azonos értékű a különböző típusú és tulajdonságú talajokon, mivel a tápelemek felvételét egy-egy talajon, más-más tényezők befolyásolják. Ezért szükséges a módszerek *határértékeit* talajtípusonként illetve a talajok tulajdonságainak figyelembevételével megállapítani.

#### 1.2.1. A N-ellátottság vizsgálata

Az egyik legnehezebb feladat a talajok N-ellátottságának megítélése. A növények számára közvetlenül hozzáférhető formák, a könnyen oldható illetve kicserélhető  $\text{NO}_3^-$ - és  $\text{NH}_4^+$ -ion tartalom képezi az *aktuális* készletet. Mennyiségük függ a mikroszervezetek tevékenységétől, a növények felvételétől és emiatt időben *állandóan változik*. A közvetlenül felvehető N-formák gyors változása miatt gyakori az összes-N, illetve humusztartalom vizsgálata a felvehető formák helyett.

A növények ellátása szempontjából fontos a talaj *N-szolgáltató* képességének ismerete. A talaj N-szolgáltató képessége az összes N-tartalom alapján becsülhető a talajtulajdonságok ismeretében. *Sarkadi* szerint a képződő  $\text{NO}_3\text{-N}$  mennyiség az 54. táblázatban közölt szorzófaktorok segítségével számítható, az alábbiak szerint.

$$\text{N-szolgáltató képesség} = \text{N} \cdot \text{f} \cdot 300 \text{ (kg/ha)}$$

N = talaj összes N-tartalma (%)

f = szorzófaktor

54. táblázat **Szorószámok a talaj N-szolgáltató képességének megítéléséhez**  
(Sarkadi, 1975)

Fizikai talajféleség	Talajtípus		
	csernozjom	réti, szikes	erdő
Homok	1,5	1,25	1,25
Homokos vályog	1,25	1,0	1,0
Vályog	1,0	0,8	0,8
Agyagos vályog	0,8	0,7	0,8
Agyag	0,7	0,6	0,7

A talajok *N-szolgáltató képessége* jellemezhető állandó hőmérsékleten és nedvességtartalom mellett végzett *érleléssel* is. Erre hazánkban id. Várallyay dolgozott ki módszert. Az időigényes érlelés helyett mérhetjük a híg savban hidrolizálható N-tartalmat *Tyurin* szerint. Mindkét módszerrel a potenciális N-szolgáltatás jellemezhető. *Filep* az optimális érlelési feltételek között ásványosodó nitrogént tekinti a talaj *potenciális* N-szolgáltató képességének. A természetes környezetben ténylegesen ásványosodó N-mennyiséget a potenciális szolgáltatóképeségből számítja a talaj nedvességtartalma és hőmérséklete alapján.

Hazánkban az *országos tápanyagvizsgálat* keretében a *humusztartalmat* határozzák meg, mivel a humusz és összes N-tartalom között viszonylag szoros az összefüggés, 1 % humusz = 0,06 % N. A N-ellátottságot a termőhely kategóriák és a talajok kötöttségének figyelembevételével határozzák meg. NO<sub>3</sub>-N vizsgálatot esetenként végeznek a gabonák tavaszi N-adagjának, illetve a cukorrépa N-adagok megállapításához.

#### 1.2.2. A P-ellátottság vizsgálata

A talajok *könnyen oldható* P-tartalmának meghatározására különböző módszerek ismertek, ezek elsősorban a *kivonószer tulajdonságaiban* térnek el egymástól. A desztillált *vizes* extrakcióval csak a legkönnyebben oldható P-frakciók oldhatók ki a talajból. A *savas* oldószerek a Ca-foszfátokat, a *lúgos* oldószerek a Fe-, Al-foszfátokat oldják nagyobb mennyiségben.

Hazánkban korábban az *Egner–Riehm* módszert (DL) használták, a kivonószer sósavas Ca-laktát volt. A módszer hibája, hogy meszes talajokon nem szolgáltat megfelelő értéket. Helyette az *Egner–Riehm–Domingo* módszert (AL) vezették be, a kivonószer ammónium-laktát-ecetsav (pH=3,7). Az AL oldat erélyesebb és jobban pufferolt kivonószer, mint a korábban használt DL oldat. A talaj P-ellátottságának megítélésénél a termőhely kategóriákat és a talaj kalcium-karbonát tartalmát, vagy pH-értékét veszik figyelembe.

A könnyen oldható P-tartalom meghatározható *Olsen* módszerével is, az extráló oldat 0,5 mólos  $\text{NaHCO}_3$ -oldat ( $\text{pH}=8,5$ ). Ismertek ezen kívül különböző frakcionált P-vizsgálati módszerek, melyek a különböző oldhatóságú P-frakciók elválasztására nyújtanak lehetőséget.

#### 1.2.3. A K-ellátottság vizsgálata

A talaj könnyen oldható K-tartalmát Magyarországon korábban a DL-kivonatban, jelenleg pedig az AL-kivonatban határozzák meg. A talajt az extraháló oldatokkal kezelve a kálium részben oldódás, részben ioncsere révén jut oldatba. A K-ellátottság megítélésénél a termőhelycsoportokat és ezen belül a talajok kötöttségét veszik figyelembe. Kíváncos lenne az agyagminőség, illetve a K-fixálás mértékének meghatározása is.

#### 1.2.4. A Mg-ellátottság vizsgálata

A könnyen oldható Mg-tartalmat külföldön többnyire kalcium-kloridos kivonatból határozzák meg. Hazánkban kálium-kloridos kivonatban vizsgálják. A határértékek a kötöttségtől függően változnak.

#### 1.2.5. A mikroelem-ellátottság vizsgálata

A legtöbb mikroelemnek speciális kivonószere ismert. A vasat, mangánt, rezet, cinket általában savas kivonatokban vizsgálták régebben. A *vasat* többnyire sósavas kivonatban, a *mangánt* kénsavas kivonatban, a *rezet* salétromsavas kivonatban, a *cinket* sósavban. Ismert az *aktív Mn* meghatározása, mely a kicserélhető és könnyen redukálható Mn-tartalomból áll. A *cink* kivonására használták az ammónium-karbonátos, és kálium-kloridos kivonást is. A *bór* vizsgálatára a forró vizes kioldás, a *molibdén* meghatározására ammónium-oxalát-oxálsav kivonószert terjedt el.

Egyre szélesebb körben terjed a komplexképzőkkel történő extrakció. Magyarországon az EDTA-kálium-kloridos kioldást alkalmazzák. A mikroelemvizsgálati módszerek határértékei még nem eléggé ellenőrzöttek. Az ellátottság megítéléséhez a talaj pH-értékét, kötöttségét és humusztartalmát kell figyelembe venni.

#### 1.2.6. Az EUF módszer

Az EUF (elektro-ultra-filtrációs) módszer a tápanyagtartalom frakcionálását teszi lehetővé speciális készülék segítségével. A minták extrakciója szakaszosan történik desztillált vízzel, növekvő feszültség mellett, egyenáramú elektromos erőterben. A feszültség hatására az ionok az ellentétes töltésű elektródhoz vándorolnak és így a kationok és anionok elválaszthatók egymástól. Az anionok az anódszűrletben, a kationok a katódszűrletben gyűlnek össze. A feszültség növelése elősegíti az ionok deszorbeálódását a talajkolloidokról. Így alacsony feszültség mellett (50 V) a könnyen

oldható és a lazán kötött ionok mennek oldatba, nagyobb feszültség mellett (200 és 400 V) az erősebben kötött ionok. A vizsgálat a könnyen hasznosítható (aktuális) és a tartalék (potenciális) készletek meghatározását teszi lehetővé. A N esetében az  $\text{NO}_3\text{-N}$  és  $\text{NH}_4\text{-N}$  mennyiségén kívül meghatározható a *könnyen oxidálható*, oldható szerves N-frakció is, amellyel a mobilizálható N-készletek jellemezhetők.

Az *oldhatatlan hidroxidokat* képező fémek az elektródon kiválnak, pl. a Mg és a nehézfémek, ezért ezek nem frakcionálhatók. A Mg-hidroxid egy része a kémhatásviszonyoktól függően oldódik és ennek következtében a frakciókban megjelenik. A régi EUF készülékekben 20 °C-on történt az extrakció. Az újabbak fűthetők, az utolsó frakció 400 V-on és 80 °C-on különíthető el. Vázlatos rajza a 47. ábrán látható.

47. ábra: Az EUF készülék sematikus rajza

A *hagyományos* tápanyagvizsgálati módszerek előnye a gyors és viszonylag egyszerű kivitelezhetőség, így nagy sorozatokban is végezhetők. Az *EUF módszer* speciális eszközigénye és az extrakció időigénye miatt sorozatvizsgálatokra kevésbé alkalmas. A talaj tápelemtartalma hagyományos módszerekkel is frakcionálható.

#### Kérdések

1. Melyek a kémiai vizsgálati módszerek előnyei a tápanyagellátottság megítélésében?
2. Mennyiben tér el a N-ellátottság megítélése a többi elem ellátottságának jellemzésétől? Milyen módszerek ismertek az aktuális és potenciális N-ellátottság meghatározására?
3. Melyek a különböző P-vizsgálati módszerek jellemzői, milyen talajtulajdonságokat kell figyelembe venni az ellátottság jellemzésére?
4. Milyen módszerekkel vizsgálható a talajok K-ellátottsága, milyen talajtulajdonságokat kell még figyelembe venni?
5. Mit tud a Ca- és Mg-ellátottság megítéléséről?
6. Milyen módszerek ismertek az egyes mikroelemek mennyiségének jellemzésére?
7. Mi az EUF módszer előnye a klasszikus vizsgálati módszerekkel szemben? Milyen az eszközigény? Min alapszik a frakcionálás?

## 2. Műtrágyázási szaktanácsadás

A műtrágyaadagok megállapításánál figyelembe kell venni a *növények igényét*, a talaj *tápanyag-ellátottságát* és a műtrágyák várható *érvényesülését* az adott talajon. A szorosan vett agrokémiai szempontokon kívül tekintettel kell lennünk a *műtrágyák környezeti hatásaira*. A veszélyeztetett területeken a számított adagok csökkentésével kell elkerülni a környezeti károkat.

A növények *elméleti tápanyagszükségletét* a tervezett terméssel kivonható tápanyagtartalom határozza meg, mely a termés nagyságából és az egységnyi termésmennyiség tápelemtartalmából számítható.

$$T = Q \cdot f$$

ahol: T = elméleti tápanyagszükséglet (kg/ha)

Q = várható termés (t/ha)

f = fajlagos tápanyagszükséglet (kg/t)

(lásd 55. táblázat)

Az *elméleti tápanyagszükséglet* azonban nem egyezik meg a műtrágyaszükséglettel. A *műtrágyaszükséglet* függ a talaj *tápanyag-ellátottságától* és a *műtrágyák érvényesülésétől* az adott talajon. Gyengén ellátott talajon több tápanyagot, jól ellátott talajon kevesebbet kell adnunk. A *műtrágyák érvényesülése* is a talajtulajdonságoktól függ, kedvezőtlen tulajdonságú talajon rosszabb az érvényesülés, ezért ezeken több műtrágyát, míg a jó tulajdonságú talajon ahol kedvezőbb az érvényesülés, kevesebbet kell adni.

A növények igénye, a talaj tápanyagtartalma, valamint a műtrágyák érvényesülése sokféle módon vehető figyelembe. A szaktanácsadási módszerek ebben különböznek egymástól. A legtöbb módszer a mérleg elven alapszik, figyelembe véve a veszteségeket, illetve az említett módosító tényezőket.

55. táblázat **A szántóföldön termesztett növények terméssel felvett NPK-, Ca-, Mg-tartalma (kg/t)**

Növény	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Őszi búza	27	11	18	6	2
Rozs	27	12	26	8	2
Őszi árpa	27	10	26	10	3
Tavaszi árpa	23	9	21	8	2
Zab	28	12	29	6	2
Rizs	22	10	20	6	2
Kukorica	25	13	22	8	3
Szemes cirok	29	10	31	8	3
Szudánifű	4,5	1,2	3,5	1	0,5
Cukorcirok	4,2	1,4	3,2	1,5	0,5
Silókukorica	3,5	1,5	4,0	2,0	0,7
Cukorrépa	3,5	1,5	5,5	4,5	1,5
Burgonya	5,0	2	9	3	1
Borsó	50	17	35	32	6
Zöldborsó	19	5,6	15,2	10	2
Szója	62	37	51	42	9
Bab	55	25	40	38	8
Zöldbab	13	2,8	11,9	13	3

Lóbab	52	23	46	35	7
Fehér virágú csillagfűrt	70	28	37	24	10
Sárga virágú csillagfűrt	77	21	45	25	9
Lucernaszéna	27	7	15	45	3
Vöröshere	23	5	20	35	5
Napraforgó	41	30	70	24	12
Repce	55	35	43	50	10
Mustár	50	25	40	35	3
Olajlen	40	13	50	18	3
Rostlen	12	6	12	13	2
Kender	9	8	16	16	2
Seprűcirok	33	37	25	8	3
Dohány	45	15	80	18	2
Egynyári szálás zöldtakarm.	2,5	1,2	3,5	1,1	0,6
Füveshere széna	18	5	20	30	4
Egyéb pillangós széna	20	5	15	34	5
Rét	17	6	18	10	7
Legelő	20	7	22	12	8



## 2.1. Szántóföldi növények $N, P, K$ szükséglete

Magyarországon Debreczeni és munkatársai 1977-78-ban javaslatot dolgoztak ki a szántóföldi növények NPK trágyázásához, melyet a MÉM-NAK: "Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer"-ként vezetett be a gyakorlatba. Szerzők 1987-ben módosították javaslatukat a számítási alapelvek megtartásával. Növelték az ellátottsági kategóriák számát és megváltoztatták a határértékeket. *A megemelt határértékek helyessége szakmai körökben vitatott, mivel a korábbihoz képest többlet felhasználásra ösztönöznek.*

A *műtrágyaszükséglet számítása* azon alapszik, hogy a várható termés tömegét a növényfajra jellemző fajlagos értékkel szorozzák. A szorzófaktor értékét a talajok tápanyag-ellátottságának továbbá a termőhelycsoportokba sorolt talajok fizikai-kémiai tulajdonságainak figyelembevételével növelik, illetve csökkentik. Az ilyen módon módosított fajlagos értéket a továbbiakban *korrigált fajlagos értéknek* nevezzük. A várható termés számértékét e szorzóval szorozva az elméleti tápanyagszükséglet helyett közvetlenül a műtrágyahatóanyag-szükségletet kapják:

$$M = Q \cdot f_{\text{kor}}$$

ahol:  $M$  = műtrágyahatóanyag-szükséglet (kg/ha)

$Q$  = várható termés (t/ha)

$f_{\text{kor}}$  = korrigált fajlagos hatóanyag-szükséglet

Az  $f_{\text{kor}}$  számértéke alapvetően a növény igényétől (faj, fajta) függ, azonban a talaj tápanyagellátottsága, valamint a műtrágyák várható érvényesülése szerint termőhelycsoportonként is változik.

*A műtrágyahatóanyag-szükséglet számításának lépései:*

1. A tábla termőhelykategóriába sorolása.
2. A termésszint becslése.
3. Az NPK ellátottság megítélése.
4. A fajlagos műtrágyahatóanyag-szükséglet ( $f_{\text{kor}}$ ) kikeresése a táblázatokból.
5. A műtrágyahatóanyag-szükséglet számítása.
6. Módosító tényezők figyelembevétele.

### 2.1.1. Termőhelycsoportok

A talajokat tulajdonságaik alapján hat szántóföldi termőhelycsoportba osztották:

- I. Csernozjom talajok
- II. Barna erdőtalajok

III. Réti és egyéb kötött talajok

IV. Homok- (laza) talajok

V. Szikes talajok

VI. Sekély termőrétegű talajok

A szántóföldi kategóriák kialakítása a talajok *agronómiai* tulajdonságainak figyelembevételével történt. Egy-egy csoportban több hasonló tulajdonságú genetikai típus szerepel. A csoportok jellemzői:

A *csernozjom talajok* csoportjában legjobb a tápanyagok érvényesülése. Jellegzetes agronómiai tulajdonságuk a mély termőréteg, a jó tápanyagszolgáltató-képesség, levegő- és vízgazdálkodás és a könnyű művelhetőség.

A *barna erdőtalajok* csoportjában a viszonylag kedvező tulajdonságú és megfelelően művelhető típusokat egyesítették. A tápanyagok érvényesülése azonban e típusokon valamivel gyengébb.

A *réti és egyéb kötött* talajokat a rosszabb levegő és vízgazdálkodás és ennek megfelelő gyengébb tápanyagfeltáródás jellemzi. A tápanyagok leköötődése nagyobb, s ennek következtében a műtrágyák érvényesülése kisebb mértékű.

A *homoktalajokon* a kedvezőtlen vízgazdálkodási tulajdonságok akadályozzák a tápanyagok érvényesülését. A tápanyagleköötődés nem befolyásolja a tápanyaggazdálkodást, a téli csapadékkal léphet fel tápanyagveszteség.

A *szikes talajokon* a kedvezőtlen kémhatásviszonyok és a rossz vízgazdálkodási tulajdonságok akadályozzák a tápanyagok érvényesülését.

A *sekély termőrétegű* talajokon a termőréteg vastagsága és az ebből adódó kis víztárolóképesség akadályozza a műtrágyák érvényesülését, illetve a növények fejlődését.

#### 2.1.2. A termésszint becslése

A várható termésszint becslése az előző 5 év termésadatai alapján végezhető, táblánként. A különböző kultúrák termésének egyszerű összehasonlíthatósága érdekében termőhelycsoportonként táblázatok állnak rendelkezésre, melyekből megállapítható, hogy egy-egy kultúra adott *termése* a termőhelyen milyen *termésszintnek* felel meg. A várható termés a két legjobb évben elért termésszint alapján tervezhető, a helyi tapasztalatokat is figyelembe véve.

### 2.1.3. A tápanyagellátottság megállapítása

A talajvizsgálati adatok alapján meg kell állapítani a termőhelycsoportba sorolt tábla N-, P-, K-ellátottságát az 56, 57, 58. táblázat segítségével. Az 1987-ben módosított irányelvekben hat ellátottsági kategóriát különböztetnek meg:

igen gyenge, gyenge, közepes, megfelelő, jó, igen jó/sok

56. táblázat **A talaj humusztartalmának határértékei (a N-ellátottság megítéléséhez)**

Szántóföldi termőhely	K <sub>A</sub>	Humusz %					
		igen gyenge	gyenge	közepes	megfelelő	jó	igen jó
I.	-42	-1,50	1,51-1,80	1,81-2,30	2,31-2,80	2,81-3,25	3,26-
	42-	-2,00	2,01-2,30	2,31-2,80	2,81-3,30	3,31-3,75	3,76-
II.	-38	-1,00	1,01-1,25	1,26-1,60	1,61-2,00	2,01-2,50	2,51-
	38-	-1,25	1,25-1,50	1,51-2,00	2,01-2,50	2,51-3,00	3,01
III.	38-50	-1,25	1,26-1,75	1,76-2,55	2,56-3,20	3,21-3,75	3,76-
	51-60	-1,50	1,51-2,00	2,01-2,50	2,51-3,25	3,26-4,00	4,01
	61-	-1,75	1,76-2,25	2,26-2,75	2,76-3,50	3,51-4,25	4,26-
IV.	-30	-0,50	0,51-0,75	0,76-1,00	1,01-1,40	1,41-1,75	1,76-
	31-38	-0,75	0,76-1,00	1,01-1,50	1,51-2,00	2,01-2,50	2,51
V.	38-50	-1,60	1,61-1,90	1,91-2,25	2,26-2,80	2,81-3,60	3,61-
	51-60	-1,80	1,81-2,10	2,11-2,45	2,46-3,00	3,01-3,80	3,81-
	60-	-2,00	2,01-2,30	2,31-2,75	2,76-3,20	3,21-4,00	4,01
VI.	-42	-1,00	1,01-1,35	1,36-1,75	1,76-2,15	2,16-2,75	2,76-
	42-	-1,30	1,31-1,75	1,76-2,15	2,16-2,75	2,76-3,25	3,26-

K<sub>A</sub> = Arany-féle kötöttségi szám

A táblázatokból megfigyelhető, hogy azonos tápanyagtartalom különböző ellátottságnak felel meg az egyes termőhely kategóriákban és a módosító talajtulajdonságoktól függően is változik. A N-ellátottság megítélése a talajok humusztartalma, a P- és K-ellátottság elbírálása az AL-P, illetve AL-K értékek alapján történik. Az ellátottságot módosító talajtulajdonságok a N esetében a talajok kötöttsége, a P-nál a kalcium-karbonát tartalom, illetve pH-érték, a K-nál a kötöttség.

*Az 56, 57, 58. táblázatokban bemutatott határértékek helyett napjainkban egyre inkább a korábbi (1977/78-as) határértéke alapján történik a műtrágyaszükséglet számítása, így kisebbek a számított adagok a korábbiakhoz képest.*

57. táblázat A talaj oldható foszfortartalmának határértékei (a P-ellátottság megítéléséhez)

Szántóföldi termőhely	CaCO <sub>3</sub> % vagy pH <sub>KCl</sub>	AL-oldható P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/1000g (ppm)					
		igen gyenge	gyenge	közepes	megfelelő	jó	sok
I.	- 1 %	-80	81-110	111-150	151-190	191-250	251-
	1 % -	-120	121-160	161-200	201-240	241-300	301-
II.	pH-5,5	-45	46-90	91-130	131-180	181-200	201-
	5,5-6,5	-60	61-110	111-150	151-200	201-240	241-
	6,5-	-75	76-120	121-170	171-220	221-280	281-
III.	- 1 %	-60	61-100	101-140	141-180	181-220	221-
	1 % -	-100	101-140	141-180	181-220	221-260	261-
IV.	- 1 %	-50	51-80	81-120	121-160	161-200	201-
	1 % -	-80	81-110	111-150	151-190	191-230	231-
V.	pH-6,5-	-50	51-100	101-140	141-180	181-220	221-
	6,5-	-100	101-150	151-180	181-220	221-260	261-
VI.	pH-5,5	-45	46-75	76-100	101-145	146-180	181-
	5,5-6,5	-75	76-110	111-145	146-190	191-230	231-
	6,5-	-100	101-140	141-175	176-235	236-275	276-

58. táblázat A talaj oldható káliumtartalmának határértékei (a K-ellátottság megítéléséhez)

Szántóföldi termőhely	K <sub>A</sub>	AL-oldható K <sub>2</sub> O mg/1000g (ppm)					
		igen gyenge	gyenge	közepes	megfelelő	jó	igen jó
I.	-42	-150	151-200	201-240	241-280	281-320	321-
	42-	-200	201-250	251-300	301-340	341-380	381-
II.	-42	-120	121-150	151-180	181-210	211-250	251-
	43-50	-140	141-170	171-200	201-235	236-275	276-
	50-	-160	161-190	191-200	221-255	256-300	301-
III.	-	-150	151-210	211-300	301-380	381-450	451-
IV.	-30	-50	51-75	76-110	111-170	171-250	251-
	31-38	-75	76-100	101-140	141-200	201-280	281-
V.	38-50	-150	151-200	201-275	276-365	366-445	446-
	51-	-180	181-225	226-300	301-380	381-480	481-
VI.	-42	-120	121-160	161-200	201-250	251-300	301-
	42-	-160	161-200	201-240	241-290	291-340	341-

## 2.1.4. A műtrágyaszükséglet számítása

A N-, P-, K-műtrágya hatóanyag-szükséglet a növényfajok igénye, a termőhely sajátossága és a tápanyagellátottság mértéke szerint *differentiált* fajlagos értékekkel ( $f_{kor}$ ) számítható ki, a várható termés ismeretében.

Az 1987-ben kiadott "Új műtrágyázási irányelvek" MÉM-NAK kiadványban 33 kultúra korrigált fajlagos értékei találhatók táblázatos formában. A táblázatokban a szorzófaktorok tápelemenként (N, P, K), továbbá termőhelyenként és ellátottsági kategóriánként szerepelnek.

A korrigált fajlagos értékek a kedvezőtlen termőhelycsoportokban nagyobbak, mint a jó adottságú termőhelycsoportokban. A fajlagosok számértéke a talaj tápanyagellátottságától függően változik nagyobb mértékben, a tápanyagellátottság javulásával csökken. Számértékük általában a "megfelelő" tápanyagellátottság esetén egyezik meg a tényleges fajlagos értékekkel. Ebből következik, hogy az első termőhely kategóriában megfelelő ellátottságnál az elméleti tápanyagszükséglet pótlása javasolt, gyengébb ellátottságnál több, jó ellátottságnál kevesebb. (A korábbi javaslatban a „közepes” ellátottságnál javasolták az elméleti szükséglet pótlását.)

Példaként az őszi búza fajlagos műtrágya hatóanyag igényét mutatjuk be az 59. táblázatban. A környezetkímélő és gazdaságos tápanyaggazdálkodás szempontjából *nem helyes*, hogy a jó P- és K-ellátottságot meghaladó „sok” kategóriában is javasolnak műtrágyafelhasználást.

A szaktanácsadási irányelvekben található táblázatok a javasolt mennyiségeken kívül a tápanyagok őszi-tavaszi megosztására nézve is tartalmaznak ajánlásokat.

#### 2.1.5. A műtrágyaszükséglet korrigálása

A számított műtrágyahatóanyag-szükséglet az elővetemény és egyéb módosító tényezők figyelembevételével *csökkenthető*, illetve *növelhető*.

A N-adag kedvező (pillangós) elővetemény után, megfelelő humusztartalmú talajokon 30-50 kg/ha hatóanyaggal csökkenthető. Kedvezőtlen adottságú termőhelyeken nagy tömegű szerves anyag (kukoricaszár, szalma stb.) alászántása esetén kiegészítésként 8-10 kg N-t kell adni minden tonna szerves anyagra, ha a számított adag nem éri el a 150 kg N/ha-t.

A P-adagokat szélsőségesen savanyú ( $pH < 5$ ) talajokon, illetve 20 % feletti kalcium-karbonát tartalmú talajokon 15-20 %-kal növelni kell.

A K-adagok kukoricaszár, napraforgószár, illetve szalma alászántása esetén—a beszántott szerves anyag K-tartalmának megfelelően—csökkenthetők.

#### 59. táblázat őszi búza fajlagos műtrágya-igénye hatóanyagban kg/tonna terméshez

Szánföldi	A talaj tápanyag-ellátottsága
-----------	-------------------------------

termőhely	igen gyenge	gyenge	közepes	megfelelő	jó	sok
<i>NITROGÉN</i>						
I.	32	30	28	24	20	15
II.	34	32	30	27	21	16
III.	33	31	29	26	22	17
IV.	38	36	32	28	24	20
V.	36	34	32	28	23	17
VI.	36	34	32	28	23	18
<i>FOSZFOR</i>						
I.	24	22	20	16	11	7
II.	26	24	22	18	14	9
III.	27	25	22	17	13	8
IV.	30	28	26	21	16	9
V.	30	28	26	22	18	10
VI.	29	27	24	21	18	10
<i>KÁLIUM</i>						
I.	21	20	19	15	11	7
II.	24	22	20	15	11	8
III.	25	23	20	15	11	7
IV.	28	26	24	20	15	9
V.	26	24	22	18	14	8
VI.	26	24	22	19	16	9

A műtrágyamennyiség megosztása a felhasználandó hatóanyag százalékában

Őszi búza

Szántóföldi	Kötöttség	N-műtrágyázás			P- és K-műtrágyázás (az összes %-ában)	
termőhely	K <sub>A</sub>	ősszel %	max.N-adag kg/ha	tavasszal %	ősszel	tavasszal
I.	42 42	40 30	80	60 70	100	-
II.	38 38	40 30	70	60 70	100	-
III.	38-50 51-60 60	30 40 40	80	70 60 60	100	-
IV.	30-38 30	40 30	60	60 70	80	20
V.	38-50 51-60 60	30 40 40	70	70 60 60	100	-
VI.	42 42	40 30	60	60 70	80	20

Figyelembe kell venni az *istállótrágyázás* utóhatását. 10 t közepes minőségű almos trágya tápanyagszolgáltató képessége *kg hatóanyagban*:

	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
az első évben	18	20	40
a második évben	12	15	20

## 2.2. A mésztrágyázás

Minden esetben indokolt ha a hidrolitos aciditás ( $y_1$ ) értéke laza talajokon nagyobb mint 4,6, illetve középkötött talajokon nagyobb mint 8. Mésztrágyázás szükséges továbbá minden talajon, amelynek kálium-kloridos pH-értéke kisebb mint 6. A mésztrágya-adagok a talaj pH-értékétől, illetve hidrolitos aciditásától és kötöttségétől függően 0,5-2,0 t/ha kalcium-karbonát nagyságrendűek. A javasolt mésztrágya-adagokat a 60. táblázat tartalmazza. A mésztrágyázás nem helyettesíti a kémiai talajjavítást, ott ahol erre szükség van, de alkalmas lehet a javítás hatásának fenntartására.

60. táblázat **Javasolt mésztrágyaadagok CaCO<sub>3</sub>-hatóanyagban, t/ha**  
(MÉM-NAK, 1987)

Kötöttség K <sub>A</sub>	pH (KCl) < 5,6	pH (KCl) 5,6-6,0			
		hidrolitos aciditás ( $y_1$ )			
		4-8	8-12	12-16	16
< 38	1,0	0,5	1,0	0,5	
38-50	1,5	0,8	1,3	1,8	2,0*
> 50	2,0	1,0	1,5	2,0	2,0*

\* A javasolt műtrágya-mennyiségek–melioratív szintű meszezés szükséges dózisaig–növelhetők az üzem, illetve a meszezőanyag beszerzésének lehetőségeitől függően

## 2.3. A magnéziumtrágyázás

A talajok Mg-ellátottságát hazánkban a M KCl-ban mért Mg-tartalom alapján ítéljük meg. A határértékeket a 61. táblázat tartalmazza. A Mg-trágyázás csak Mg-hiányos talajokon és különösen a Mg igényes kultúráknál indokolt. A Mg-trágyák javasolt adagját a 62. táblázat tartalmazza.

61. táblázat **A talajok Mg-ellátottsági határértékei**  
(M KCl-kivonatban mérve)

K <sub>A</sub>	Fizikai talajfőleség	Mg ppm		
		gyenge	közepes	jó
<30	homok	<40	40-60	60-
31-42	homokos vályog, vályog	<60	60-100	100-
>43	agyagos vályog, agyag	<100	100-200	200-

62. táblázat **Mg-trágyázási javaslat (Mg kg/ha)**

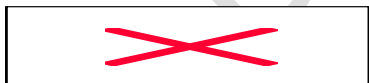
K-adag	K <sub>A</sub>		
	<30	31-42	>43
200 kg/ha K <sub>2</sub> O alatt	20	30	40
200 kg/ha K <sub>2</sub> O felett	30	45	60

A magnéziumot permettrágya formájában is alkalmazhatjuk. Permetezésre általában 5 %-os keserűsítő oldatok használhatók. A permetezés a vegetációs időszak meghatározott szakaszaiban javasolt.

#### 2.4. Ca és Mg együttes visszapótlása

Savanyú Mg-szegény talajokon a Mg és mészállapot együtt is rendezhető dolomittartalmú javítóanyagokkal. Erre a célra az *őnporló* dolomitok a legalkalmasabbak, de felhasználhatók a szabványkövetelményeknek megfelelő minőségű és őrlésfinomságú dolomitőrlemények is.

Dolomitokat célszerű alkalmazni abban az esetben, ha a talaj pH értéke (KCl) 5,5 alatti, y<sub>1</sub> értéke nagyobb 4-nél, KCl oldható Mg-tartalma pedig 60 ppm-nél kevesebb.



A hektáronként kijuttatandó dolomitmennyiség megállapítása az alábbi képlet szerint történik:

ahol: D = 1 ha területre kijuttatandó javítóanyag mennyisége tonnában kifejezve

K<sub>A</sub> = Arany-féle kötöttségi szám

y<sub>1</sub> = hidrolitos aciditás értéke

CaCO<sub>3</sub> ekv.% = a dolomit Ca + Mg tartalma CaCO<sub>3</sub> egyenértékben kifejezve:

Ca % · 2,50 = CaCO<sub>3</sub> %

Mg % · 4,12 = CaCO<sub>3</sub> %



## **2.5. A mikroelemtrágyázás**

A MÉM-NAK irányelvek konkrét ajánlásokat tartalmaznak a mikroelemtrágyázásra is. A hazánkban alkalmazott egységes mikroelem vizsgálati módszer határértékei azonban nem eléggé tisztázottak. Ezért a trágyázásnál elsősorban a mikrotápelemek felvételi viszonyait kell szem előtt tartani, melyeket az általános agrokémia és a mikroelemtrágyázás című fejezetben ismertettünk.

## **2.6. Az állókultúrák trágyázása**

A MÉM-NAK 1979-ben kiadta az "Állókultúrák telepítését és ültetvények korszerűsítését megelőző alaptrágyázások irányelvei"-t. 1981-ben elkészült az "Állókultúrák fenntartó műtrágyázási irányelvei" című kiadvány. Az alaptrágyázás biztosítja az ültetvények jó tápanyagszinten való indítását. A fenntartó trágyázás során kell pótolni az éves termés, valamint a hozzátartozó fanövedék, illetve vesszőnövedék által felhasznált tápanyagok mennyiségét.

A fenntartó trágyázásra vonatkozó javaslat és számítási módszer hasonló elveken épül fel, mint a szántóföldi kultúráké. A számítás alapja az 1 t gyümölcs előállításához szükséges tápanyag-mennyiség, melyet a talaj tápanyagtartalma, pH-értéke, kötöttsége és humusztartalma szerint korrigálnak. Az ellátottság megítéléséhez figyelembe veszik a levélanalízisek adatait.

### **Kérdések**

1. Mi a különbség a tápanyagszükséglet és a műtrágyaszükséglet között?
2. Min alapszik a hazánkban a MÉM-NAK módszer néven elterjedt számítási módszer?
3. Milyen termőhelycsoportokat különböztetünk meg, melyek ezek jellemzői?
4. Hogyan becsülhető meg a várható termésszint, miért fontos ennek ismerete?
5. Hogyan történik az N-, K-ellátottság megítélése?
6. Milyen talajtulajdonságoktól függ a fajlagos műtrágyahatóanyag-szükséglet ( $f_{kor}$ ) értéke?
7. Hogyan számíthatjuk a műtrágyaszükségletet, milyen tényezők figyelembevételével korrigáljuk a számított értéket?
8. Milyen szempontok alapján határozzuk meg a mésztrágyaadagokat?
9. Hogyan számítjuk a Mg-szükségletet Mg-trágyázás, illetve talajjavítás esetén?
10. Mennyiben tér el az állókultúrák trágyázása a szántóföldi kultúrákétól?

## Felhasznált irodalom

- ALMÁSSY GY. – MÁTÉ F. – ZÁDOR GY. (1977): Műtrágyák. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- AMBERGER, A. (1983): Pflanzenernährung, Ulmer Verlag, Stuttgart.
- BARANYAI F., FEKETE A. – KOVÁCS I. (1987): A magyarországi talaj tápanyagvizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- BERGMANN, W. (1979): Termesztett növények táplálkozási zavarainak előfordulása és felismerése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- BERGMANN, W. (1983): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- BUZÁS I. (1987): Bevezetés a gyakorlati agrokémiába. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- CSABA L. – KISS O. – SZINAY M. – VERMES L. (1978): Hígrágya hasznosítás. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- DEBRECZENI B. (1979): Kis Agrokémiai Utmutató. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- DEBRECZENI B. – DEBRECZENI B.-NÉ (1983): A tápanyag- és vízellátás kapcsolata. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- FEKETE Z. – HARGITAI L. – ZSOLDOS L. (1967): Talajtan és Agrokémia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- FINCK, A. (1992): Dünger und Düngung VCH Verlagsgesellschaft. BRD.
- FÜLEKY GY. (1999): Tápanyaggazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Di GLERIA J. (1959): Mezőgazdasági kémia. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- GYŐRI D. (1984): A talaj termékenysége. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- KARLINGER J. (1987): Folyékony műtrágyák. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- LOCH J. – NOSTICZIUS Á. (1992): Agrokémia és növényvédelmi kémia. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- MENGEL, K. (1976): A növények táplálkozása és anyagcseréje. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- MENGEL, K. (1991): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- MENGEL, K. – KIRKBY, E. A. (1987): Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Bern.
- PAIS I. (1980): A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- PETHŐ M. (1984): Mezőgazdasági növények élettana. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- PETHŐ M. (1996): Mezőgazdasági növények élettana. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- SARKADI J. (1975): A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- SCHEFFER, F. – SCHACHTSCHABEL, P. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde. Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHMALFUSS, K. (1963): Pflanzenernährung und Bodenkunde. S. Hirzel Verlag, Leipzig.
- STEFANOVITS P. – FILEP GY. – FÜLEKI GY. (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- TISDALE, S. L. – NELSON, W. L. (1966): A talaj termékenysége és a trágyázás. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.